



PCT

特許協力条約に基づいて公開された国際出願

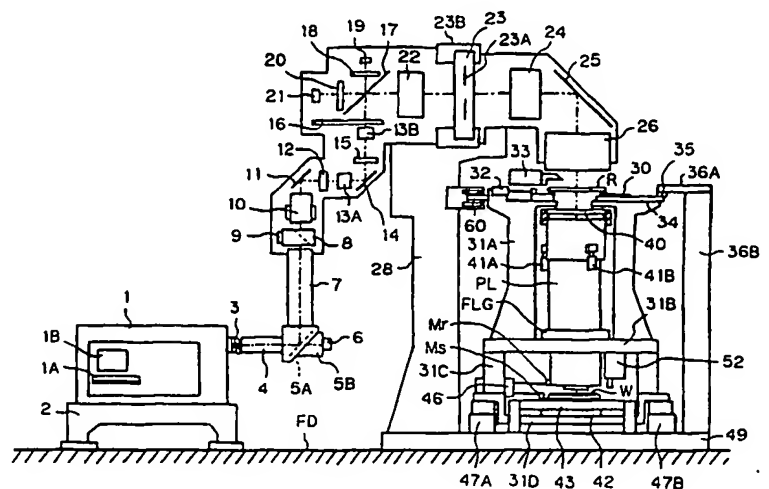
(51) 国際特許分類 <b>H01L 21/027, G03F 7/20</b>		<b>A1</b>	(11) 国際公開番号 <b>WO98/48451</b>
		(43) 国際公開日 <b>1998年10月29日(29.10.98)</b>	
(21) 国際出願番号 <b>PCT/JP98/01776</b>		(81) 指定国 AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, CA, CH, CN, CU, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, GB, GE, GH, GM, GW, HU, ID, IL, IS, JP, KE, KG, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MD, MG, MK, MN, MW, MX, NO, NZ, PL, PT, RO, RU, SD, SE, SG, SI, SK, SL, TJ, TM, TR, TT, UA, UG, US, UZ, VN, YU, ZW, ARIPO特許 (GH, GM, KE, LS, MW, SD, SZ, UG, ZW), ニューラシア特許 (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), 欧州特許 (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE), OAPI特許 (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, ML, MR, NE, SN, TD, TG).	
(22) 国際出願日 <b>1998年4月17日(17.04.98)</b>			
(30) 優先権データ 特願平9/101954 1997年4月18日(18.04.97) JP 特願平9/104978 1997年4月22日(22.04.97) JP 特願平9/233109 1997年8月28日(28.08.97) JP			
(71) 出願人 (米国を除くすべての指定国について) 株式会社 ニコン(NIKON CORPORATION)[JP/JP] 〒100-8331 東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 Tokyo, (JP)		添付公開書類 国際調査報告書	
(72) 発明者; および			
(75) 発明者/出願人 (米国についてのみ) 西 健爾(NISHI, Kenji)[JP/JP] 木内 徹(KIUCHI, Toru)[JP/JP] 〒100-8331 東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株式会社 ニコン内 Tokyo, (JP)			
(74) 代理人 弁理士 社本一夫, 外(SHAMOTO, Ichio et al.) 〒100-0004 東京都千代田区大手町二丁目2番1号 新大手町ビル206区 湯浅法律特許事務所 Tokyo, (JP)			

(54)Title: **ALIGNER, EXPOSURE METHOD USING THE ALIGNER, AND METHOD OF MANUFACTURE OF CIRCUIT DEVICE**

(54)発明の名称 露光装置、該装置を用いた露光方法、及び回路デバイス製造方法

(57) Abstract

A reflective member is fixedly or movably provided near the pupil plane of a projection optical system with which a projection aligner is equipped. A collimated measuring beam with an exposure wavelength is incident from the object plane side or image plane side of the projection optical system, and the intensity of the beam reflected by the reflective member is detected photoelectrically to measure a value corresponding to the attenuation factor (transmissivity or reflectivity) of the projection optical system or the variation with time of the attenuation factor (transmissivity or reflectivity) of the projection optical system. In accordance with the measurement results, the exposure conditions when a photosensitive substrate is exposed are corrected to avoid the deterioration of the exposure control precision due to the variation of the attenuation factor (transmissivity variation or reflectivity variation) which is caused in the projection optical system and illumination optical system of a projection aligner which uses ultraviolet illuminating light.



(57)要約

投影露光装置に装備された投影光学系の瞳面の近傍に反射部材を固定的または可動に配置し、露光波長のコリメートされた計測用ビームを投影光学系の物体面側または像面側から入射し、瞳近傍の反射部材で反射される反射ビームの強度光量を光電検出することによって、投影光学系の減衰率（透過率又は反射率）に応じた値や減衰率（透過率又は反射率）の時間的な変動を計測し、その計測結果に基づいて感光基板を露光する際の露光条件を補正して、紫外照明光を用いる投影露光装置の投影光学系や照明光学系で生じる減衰率変動（透過率変動又は反射率変動）による露光量制御精度の劣化を防止する。

PCTに基づいて公開される国際出願のパンフレット第一頁に掲載されたPCT加盟国を同定するために使用されるコード(参考情報)

AL	アルバニア	FI	フィンランド	LR	リベリア	SK	スロヴァキア
AM	アルメニア	FR	フランス	LS	レソト	SL	シエラ・レオネ
AT	オーストリア	GA	ガボン	LT	リトアニア	SN	セネガル
AU	オーストラリア	GB	英国	LU	ルクセンブルグ	SZ	スワジランド
AZ	アゼルバイジャン	GD	グレナダ	LV	ラトヴィア	TD	チャード
BA	ボスニア・ヘルツェゴビナ	GE	グルジア	MC	モナコ	TG	トーゴ
BB	バルバドス	GH	ガーナ	MD	モルドヴァ	TJ	タジキスタン
BE	ベルギー	GM	ガンビア	MG	マダガスカル	TM	トルクメニスタン
BF	ブルキナ・ファソ	GN	ギニア	MK	マケドニア旧ユーゴスラヴィア	TR	トルコ
BG	ブルガリア	GW	ギニア・ビサウ		共和国	TT	トリニダード・トバゴ
BJ	ベナン	GR	ギリシャ	ML	マリ	UA	ウクライナ
BR	ブラジル	HR	クロアチア	MN	モンゴル	UG	ウガンダ
BY	ベラルーシ	HU	ハンガリー	MR	モーリタニア	US	米国
CA	カナダ	ID	インドネシア	MW	マラウイ	UZ	ウズベキスタン
CF	中央アフリカ	IE	アイルランド	MX	メキシコ	VN	ヴェトナム
CG	コンゴ	IL	イスラエル	NE	ニジェール	YU	ユーゴスラビア
CH	スイス	IS	アイスランド	NL	オランダ	ZW	ジンバブエ
CI	コートジボアール	IT	イタリア	NO	ノルウェー		
CM	カメルーン	JP	日本	NZ	ニュージーランド		
CN	中国	KE	ケニア	PL	ポーランド		
CU	キューバ	KC	キルギスタン	PT	ポルトガル		
CY	キプロス	KP	北朝鮮	RO	ルーマニア		
CZ	チェコ	KR	韓国	RU	ロシア		
DE	ドイツ	KZ	カザフスタン	SD	スーダン		
DK	デンマーク	LC	セントルシア	SE	スウェーデン		
EE	エストニア	LI	リヒテンシュタイン	SG	シンガポール		
ES	スペイン	LK	スリ・ランカ	SI	スロヴェニア		

## 明 細 書

## 露光装置、該装置を用いた露光方法、及び回路デバイス製造方法

## 発明の属する技術分野

- 本発明は半導体デバイスや液晶表示デバイスの製造ライン中のリソグラフィ工程で使われる露光装置、及びそのような露光装置を用いた露光方法に関し、さら
- 5 5 に電子回路デバイスを半導体基板（ウェハ）やガラス基板等に形成する回路デバイス製造方法に関するものである。

## 背景技術

- 近年、超 L S I 等の半導体デバイスを製造する現場では、256 M b i t クラスの集積度と微細度を持った D - R A M（メモリチップ）やプロセッサチップの量産開発が精力的に進められている。これに伴って、次世代のリソグラフィ工程（代表的にはレジスト塗布作業、露光作業、レジスト現像作業等から成る）を担う露光装置には、より高いアライメント精度、より高い解像力、及び高いスループットを有するものが望まれている。
- 10

- 15 現在、半導体デバイスの製造現場では、主に水銀放電灯の輝線のうち波長 365 n m の i 線を露光用の照明光としたステップアンドリピート方式の縮小投影露光装置が多用されている。この投影露光装置は、1 / 5 倍の縮小率を持つ投影光学系の物体面側に配置されたレチクル（マスク基板）に i 線の照明光を照射し、レチクル上に形成された回路パターンの縮小像を投影光学系によって半導体ウェ
- 20 ハ上のレジスト層に転写する装置である。またステップアンドリピート方式の投影露光装置では、レチクルの回路パターン像をウェハ上の複数の位置（ショット領域）に順次転写するために、ウェハの載置されるステージを2次元的にステップ移動させている。

- またここ数年の動向として、ウェハ上に形成される回路デバイスのサイズ（チップサイズ）の大型化に伴って投影光学系の投影視野が極端に大きくなることを避けるために、縮小投影光学系の物体面側の視野内でレチクルを1次元方向に等速走査しつつ、縮小投影光学系の像面側の視野内でウェハを1次元方向に等速走査することで、レチクルの回路パターンの全体像をウェハ上に走査露光するステ
- 25

ップアンドスキャン方式の縮小投影露光装置が注目されてきた。

さらに露光用の照明光として、K r Fエキシマレーザ光源からの波長248nmの紫外パルス光を利用したステップアンドリピート方式またはステップアンドスキャン方式の投影露光装置が開発され、製造ラインに本格的に投入され始めている。このようなエキシマレーザ光源としては、さらに波長が短いA r Fエキシマレーザ光源（中心波長193nm）も開発されており、今後の露光用光源として有望視されている。

特にA r Fエキシマレーザ光源を露光に用いる場合、そのパルス光の自然発振状態での波長帯域内には酸素の吸収帯が幾つか存在するため、パルス光の波長特性をそれらの吸収帯を避けた波長に狭帯化することが必要となる。さらに、光源からレチクルまでの照明光路内やレチクルからウェハまでの投影光路内に極力酸素が含まれないような環境にすること、即ちそれらの照明光路や投影光路の大部分を不活性ガス（窒素ガスやヘリウムガス等）で置換することも必要となる。そのようなA r Fエキシマレーザ光源を用いた投影露光装置の一例は、例えば米国特許第5, 559, 584号（特開平6-260385号公報、6-260386号公報）に開示されている。

以上のようなエキシマレーザ光源からの紫外パルス光（波長250nm以下）に対して所望の透過率を呈する実用的な光学硝材としては、現在のところ石英（SiO<sub>2</sub>）とホタル石（CaF<sub>2</sub>）の2つが知られているだけである。もちろん、その他にフッ化マグネシウムやフッ化リチウム等も知られているが、投影露光装置用の光学硝材とするためには、加工性の問題、耐久性の問題等を解決しておく必要がある。

また、石英、及び蛍石等の場合、照明光を使用する程、投影光学系の色消しを行うのが困難になる。従って、投影光学系の色消しを容易に行う観点からは、狭帯化レーザ光源が望ましいことになる。

ところが、エキシマレーザ光の帯域は本来は広帯域であるため、狭帯化レーザ光源では、インジェクション・ロッキング等を行って発振スペクトルを狭帯化している。そのため、狭帯化レーザ光源では、レーザ出力が広帯化レーザ光源に比べて低下し、且つ寿命、及び製造コストの点でも広帯化レーザ光源に比べて悪化

している。従って、レーザ出力、寿命、及び製造コストに関しては、広帯化レーザ光源の方が有利である。そこで最近、投影光学系の構造を色消しが容易な構造にして、広帯化レーザ光源を使用することが試みられている。

さて、投影露光装置に搭載される投影光学系には、幾つかのタイプが知られているが、量産用の露光装置として製造ラインで使われているものでは、複数の屈折性光学素子（レンズ素子）のみで構成したディオプトリック系と、屈折性光学素子と反射性光学素子（特に凹面鏡）の組み合わせで構成したカタディオプトリック系とに大別される。

カタディオプトリック系のように反射屈折光学系を使用する場合、凹面鏡では色収差が無いため、屈折レンズ群中に凹面鏡を配置することにより色消しが容易になり、結果として、レーザ出力や寿命等の点で有利な広帯化レーザ光源の使用が可能となる。また、ディオプトリック系のように屈折光学系のみを使用する場合でも、全体の屈折レンズの中で蛍石の割合を多くすることによって色消しの幅を広くできるため、広帯化レーザ光源の使用が可能になる。

いずれのタイプの投影光学系を採用するにしても、屈折光学素子（透過性光学素子）を使うことには変わりなく、従って現時点では屈折光学素子として石英とホタル石の2種の硝材を使わざるを得ない。さらに屈折光学素子にしる反射光学素子にしる、その表面には反射防止層や保護層等の多層膜が蒸着され、光学素子単体としての性能が所望の状態になるように製造されている。ここで特に注目すべき性能は、レンズ素子単体の透過率の絶対値、或いは反射光学素子単体の反射率の絶対値がどの程度大きく取れるかである。

例えばレンズ素子単体の場合、光の入射面と射出面との2面の両方に反射防止膜等をコートし、極力透過率を高めるように工夫されている。この種の精密な結像光学系においては、各種の収差特性の良好な補正のために使用するレンズ素子が20～30枚と多く、各レンズ素子の透過率の僅かな低下が投影光学系全体の透過率の大きな低下を招く。また多数の反射光学素子を含む投影光学系でも、同様に各反射素子の反射率を大きくしておく必要がある。

例えば、投影光学系の結像光路を構成するレンズ素子が25枚の場合、それらレンズ素子の個々の透過率を96%とすると、投影光学系全体としての透過率 $\epsilon$

は約36% (0.96の25乗) となり、レンズ素子単体の透過率が一律に1% だけ低下したとすると投影光学系全体の透過率 $\epsilon$ は約27.7% (0.95の25乗) になってしまう。

5 投影光学系の透過率が低い場合は、レチクルの回路パターン像を半導体ウェハ (感応基板) 上に露光するための照明光の強度 (エネルギー) 増大を図ること、より感度の高い紫外線用レジストを開発することで対応可能である。その対応を怠れば露光時間の増大によるスループットの低下を甘受しなければならない。しかしながらスループット低下はデバイス製造上のコストアップにつながるために受け入れ難く、より高出力なエキシマレーザ光源を用意することが1つの実現可能な解決策となる。

ところが、エキシマレーザ光源を用いた比較的フィールドサイズの大きい投影露光装置によって各種の露光実験をしたところ、紫外波長域の照明光 (波長248nmのKrFエキシマレーザ、又は波長193nmのArFエキシマレーザ等) の照射によって、投影光学系内の光学素子、或いは光学素子のコート材 (例えば15 反射防止膜等の薄膜) の透過率がダイナミックに変動するといった新たな現象が発見された。この現象は、投影光学系内の光学素子のみならずレチクルを照明する照明光学系内の光学素子や、レチクル (石英板) 自体についても全く同様に発生し得ることが判ってきた。

そのような現象は、投影光路内や照明光路内の空間に存在する気体 (空気、窒素ガス等) 中に含まれる不純物、光学素子を鏡筒に固定するための接着剤等から20 発生する有機物質の気体分子、或いはその鏡筒の内壁 (反射防止用の塗装面等) から発生する不純物 (例えば水分子、ハイドロカーボンの分子、又はこれら以外の照明光を拡散する物質) が光学素子の表面に付着したり、照明光路内に進入 (浮遊) することで起こるものと考えられている。

25 その結果、投影光学系の透過率や照明光学系の透過率が比較的短時間のうちに大きく変動するといった重大な問題が起こる。そのような透過率の変動は、感応基板上に与えるべき露光量の制御精度を低下させ、基板上に転写される設計線幅0.25~0.12 $\mu$ m程度の微細パターンの転写忠実度を劣化させることになる。

従来の投影露光装置では、例えば特開平2-135723号公報（米国特許第5,191,374号）に開示されているように、照明光学系の光路内の適当な部分で照明光の光強度を検出し、その光強度に基づいて適正露光量が得られるようにエキシマレーザ光源からのパルス光の強度（1パルス当りのエネルギー）を調整している。このため従来の投影露光装置では、露光量制御のために照明光の強度を検出している照明光路内の部分以降の照明光学系や投影光学系の透過率の変動が全く加味されず、正確な露光量制御ができないといった問題が起こる。

また投影光学系や照明光学系の透過率変動は、上述の発生原因からしても投影光学系の像面側の視野内で一様に生じるといった保証はなく、投影光学系に関してレチクル上での照明光の照射領域と共役なパターン像の投影領域内で照度むら（露光量むら）が発生することも懸念される。さらにこれに伴って、投影光学系の結像特性（歪曲収差、球面収差、アスやコマ収差等）が微妙に変化するという不都合も懸念される。

#### 発明の開示

そこで本発明は、投影光学系或いは照明光学系の透過率変動によって発生する感応基板上またはマスク（レチクル）上での照度変動や照度むらに起因した露光量の制御精度の劣化を低減した露光装置を提供することを目的とし、さらに本発明は感応基板の露光動作中であっても準リアルタイムに投影光学系または照明光学系の透過率変動を検知可能とした露光装置を提供することを目的とする。

また本発明は、投影光学系の像投影領域内での透過率を計測したり、投影光学系の像投影領域内での平均照度や照度むらを計測したりする際の改良された計測方式を提供することを目的とし、さらに投影光学系や照明光学系に透過率変動が生じて、常に適正な露光量、良好な結像状態で回路デバイスのパターン像を基板上に形成できる回路デバイスの製造方法を提供することも目的とする。

また本発明は、マスク（レチクル）と感応基板とを投影光学系に対して同期走査している間に投影光路や照明光路の透過率変動しても、感応基板上に常に適正な露光量を与えることができる走査方式の露光装置とその露光方法を提供することを目的とする。

本発明の第1の態様は、マスク（レチクル）に形成されたパターンを波長25

- 0 nm以下の露光用エネルギー（エキシマレーザ、フッ素レーザ、波長50 nm以下のSOR線等）で照射する照射手段（レーザ光源、コンデンサーレンズ系）と、マスクのパターンの像を感応基板（ウェハ）上の所定位置に投影する投影光学系とを備えた露光装置に適用されるもので、投影光学系の物体面と像面との間に形成されるフーリエ変換面内、若しくはその近傍の面内の少なくとも一部分に配置され、投影光学系の物体面側から入射する露光用エネルギー、又は投影光学系の像面側から入射する露光用エネルギーに対して反射性を有する反射部材と、露光用エネルギーをほぼコリメートされた状態の計測ビームにして投影光学系の物体面側または像面側から反射部材に向けて投射するビーム投射手段と、反射部材によって反射されるエネルギーを検出し、その反射エネルギーに応じた検出信号を出力する検出手段と、投影光学系の減衰率変動（透過率変動又は反射率変動）に起因した露光量の制御精度劣化を低減するために、検出手段からの検出信号を利用して感応基板に対する露光条件を設定する露光制御手段（プロセッサ、光源制御系、主制御系等）とを設けるようにしたことである。
- また、マスク（レチクル）のパターンの一部分を波長250 nm以下の露光用エネルギー（紫外線レーザ光等）で照射し、パターンの部分像を投影光学系を通して被露光基板（ウェハ）上に投影しつつマスクと被露光基板とを投影光学系の視野に対して相対的に走査することにより、マスク（R）のパターンの全体像を被露光基板上に走査露光する方法に適用されるもので、走査露光の開始前に、投影光学系の物体面と像面との間に形成されるフーリエ変換面内、若しくはその近傍の面内の少なくとも一部分に配置される反射部材に露光用エネルギーを投射し、その反射部材からの反射エネルギーの強度を検知する段階と、マスクのパターンの全体像を被露光基板上に所定露光量で転写するための露光条件を、検知された強度に応じて設定する段階（ステップ328のデータベース更新）とを実施するようにしたことである。

さらに、マスク（レチクル）の回路パターンを波長250 nm以下の露光用エネルギーで照射し、回路パターンを投影光学系を介して基板（ウェハ）上の複数の位置の各々に順次投影露光するリソグラフィ工程を実施することにより、基板上に回路デバイスを形成する製造方法に適用されるもので、投影光学系の投影光

路内に形成されるフーリエ変換面内、若しくはその近傍の面内の少なくとも一部に配置される反射部材を介して、投影光路内を通る露光用エネルギーの強度を投影光学系の透過率による変化分を含んで検出する段階と、投影光学系の減衰率変動（透過率変動又は反射率変動）に起因した露光量の制御精度劣化を低減するために、基板を目標露光量で露光するための露光条件を検知されたエネルギー強度に  
5 応じて設定する段階（ステップ328のデータベース更新）とを実施するようにしたことである。

本発明の第1の態様においては、照明系や投影光学系を構成する多数の屈折（透過）性光学素子の透過率や反射性光学素子の反射率が露光動作中に時間とともに変動したとしても、その変動を加味して感応基板上に常に適正露光量が与えられるように露光制御される。  
10

しかも、マスクのパターンを感応基板上に投影するための投影光学系のフーリエ変換面（瞳面）で反射する露光用エネルギーを光電検出できるようにしたので、感応基板上の複数のショット領域を順次露光する際の各ショット露光の間に短  
15 時間のうちに減衰率変動（透過率変動又は反射率変動）の影響を受けた露光用エネルギーの一部（計測用のモニタービーム）を光電検出することが可能となる。

照明光学系や投影光学系の減衰率変動（透過率変動又は反射率変動）は、特に波長200nm以下の紫外光を使ったときに顕著に現れ、その波長域の光源としてはArFエキシマレーザー光源、F2（フッ素）レーザー光源等が知られている。  
20 従ってそのようなレーザー光源を用いた投影露光装置においては、照明光学系と投影光学系の透過率変動によって露光量制御に誤差が生じ得るが、本発明のように投影光学系のフーリエ変換面の一部に反射部材を設けると、ほぼリアルタイムに投影光学系を通ってきた露光用エネルギーの一部を光電検出することが可能となり、そのような透過率変動による露光量制御時の誤差が抑えられることになる。

また波長200nm以下の紫外域における減衰率変動（透過率変動又は反射率変動）の原因は、1つは光学硝材自体の物性によるものであり、もう1つは光学硝材の表面に付着（堆積）する不純物の分子によるものと考えられている。このうち特に、光学硝材の表面に付着する不純物分子は、そのまま放置しておけば減衰率（透過率又は反射率）を単調に低下させるだけであるが、ひとたび露光用エ  
25

エネルギーの照射を受けると化学的に分解して空間中に飛散することになり、その結果、減衰率（透過率又は反射率）が本来の値まで上昇することになる。

- このことは、多数枚の光学素子を組み込んだ投影光学系や照明光学系の全体的な減衰率（透過率又は反射率）をドラステックに変動させることを意味し、照射
- 5 履歴等をモニターして減衰率（透過率又は反射率）の変動特性を予測することを困難にする。しかしながら本発明によれば、そのような予測のための複雑な計算処理を行わなくても透過率変動を正確に検知でき、それによって正確な露光量制御を実施することができる。

- さらに、照明光学系から投影光学系を通して投影光学系のフーリエ変換面に達
- 10 する露光用エネルギーを検出可能なので、照明光学系と投影光学系の両方を含むほぼ全体の系の減衰率変動（透過率変動又は反射率変動）を正確に検知でき、それによって正確な露光量制御を実施することができる。

- 本発明の第2の態様によれば、マスク（レチクル）に形成されたパターンを紫外域の波長を有する露光用エネルギー（エキシマレーザ光源からのパルス光）で
- 15 照射する照射手段と、マスクのパターンの像を感応基板（ウェハ）上の所定位置に投影する投影光学系とを備えた投影露光装置に適用されるもので、マスクのパターン像が投影される像投影領域（照明領域内）の外側であって投影光学系の視野内に配置され、投影光学系を通して感応基板側に向う露光用エネルギーの少なくとも一部（モニター光）を受光し、その強度に応じた検出信号を出力する
- 20 第1検出手段と、照射手段内に設けられた光源からマスクまでの光路のうち予め定められた位置における露光用エネルギーの強度を検出し、その強度に応じた検出信号を出力する第2検出手段と、第1検出手段と第2検出手段の各検出信号に基づいて、露光用エネルギーに対して照射手段内の光路または投影光学系（PL）内の光路で生じる減衰率（透過率又は反射率）の変動を検知する変動検知手段（制御プロセッサ）と、その変動検知手段によって減衰率（透過率又は反射率）の変動が検知された場合は、感応基板に所望の露光量を与えるように露光条件を補正する露光制御手段（プロセッサを含む露光制御ユニット）とを設けるようにしたことである。
- 25

また、紫外域の波長を有する露光用エネルギー（例えばエキシマレーザ光源か

- らのパルス光)を照射する照射手段と、マスク(レチクル)上に形成されたパターンの一部分を照射手段からの露光用エネルギーで照射することによってパターンの部分像を感応基板(ウェハ)上に投影する投影光学系と、マスクと感応基板とを投影光学系の視野に対して相対的に走査する走査機構(ステージ、駆動制御ユニット)とを備え、その相対走査によりマスクのパターンの全体像を感応基板上に走査露光する投影露光装置に適用されるもので、マスクのパターンの部分像が投影される像投影領域(照明領域内)を、投影光学系の視野内で相対走査の方向と交差した方向に伸びた多角形または円弧状に制限する制限手段(レチクルブラインド機構)と、投影光学系の視野内であって、相対走査の方向に関して像投影領域(照明領域)の外側の領域に配置され、投影光学系を通して感応基板側に向う露光用エネルギーの少なくとも一部(モニター光)を受光し、その強度に応じた検出信号を出力する検出手段と、その検出信号に基づいて、パターンの全体像を感応基板(W)上に所望の露光量で転写するための露光条件(照明光の強度、走査速度、ブラインドの開口幅等)を設定するとともに、その露光条件に従って走査露光を制御する露光制御手段(主制御系、露光制御ユニット)とを設けるようにしたことである。

- また、走査露光の際にパターンの部分像の投影される像投影領域(照明領域によって規定される)を投影光学系の視野内で相対走査の方向と交差した方向に伸びた多角形または円弧状に制限する段階(レチクルブラインド機構によって設定)と、走査露光の開始前に、投影光学系の視野内で相対走査の方向に関して像投影領域(照明領域に対応)の外側の領域を通る露光用エネルギーの少なくとも一部(モニター光)の強度を検知する段階と、パターンの全体像を被露光基板上に所望の露光量で転写するための露光条件(照明光の強度、走査速度、ブラインドの開口幅等)を、検知された強度に基づいて走査露光の開始前に設定する段階(露光制御ユニットによる演算)とを実施するようにした走査露光方法である。

また、波長250nm以下の紫外域の露光用エネルギー(例えば紫外パルスレーザ)で照射されるマスク(レチクル)に形成された回路パターンを投影光学系を介して基板(ウェハ)上の複数の位置(ショット領域)の各々に順次投影露光するリソグラフィ工程を実施することにより、基板上に回路デバイスを形成する

製造方法に適用されるもので、投影光学系の投影視野内でマスクの回路パターンの像が形成される像投影領域（照明領域によって規定される）の外部領域を通して基板側に向う露光用エネルギーの少なくとも一部（モニター光）のエネルギーを投影光学系の像面に近い位置で検出することによって、投影光学系の減衰率変動（透過率変動又は反射率変動）に起因した露光用エネルギーの強度変化を検知する段階と、その検知された強度変化に基づいて回路パターンを基板上に所望の露光量で転写するための露光条件（照明光の強度、走査速度、ブラインドの開口幅等）を設定する段階（露光制御ユニットによる演算処理）とを実施することによって、回路パターンの像を基板上に順次投影露光していく間に生じ得る投影光学系の減衰率変動（透過率変動又は反射率変動）による露光量の制御精度の劣化を低減するようにしたことである。

本発明の第2の態様においては、照明系や投影光学系を構成する多数の透過光学素子、反射光学素子の減衰率（透過率又は反射率）が露光動作中に時間とともに変動したとしても、その変動を加味して感応基板上に常に適正露光量与えられるように露光制御される。しかもマスクのパターンが感応基板上に投影される像投影領域の外側で露光用エネルギーを光電検出できるようにしたので、感応基板上の複数のショット領域を順次露光する際の各ショット露光の間に短時間のうちに減衰率変動（透過率変動又は反射率変動）の影響を受けた露光用エネルギーの一部（モニター光）を光電検出することが可能となる。

照明系や投影光学系の減衰率変動（透過率変動又は反射率変動）は、特に波長200nm以下の紫外光を使ったときに顕著に現れ、その波長域の光源としてはArFエキシマレーザ光源が知られている。従ってArFエキシマレーザ光源を用いた投影露光装置においては、照明系と投影光学系の減衰率変動（透過率変動又は反射率変動）によって露光量制御に誤差が生じ得るが、本発明のようにほぼリアルタイムに投影光学系を通ってきた露光用エネルギーを光電検出すれば、そのような減衰率変動（透過率変動又は反射率変動）による露光量制御時の誤差が抑えられることになる。

上述した第1の態様と同様に難しい予測計算を行わなくても減衰率変動（透過率変動又は反射率変動）を正確に検知でき、それによって正確な露光量制御を実

施することができる。

本発明の第3の態様によれば、紫外波長域の照明光でマスク上の転写用パターンを照明し、そのマスク上の転写用パターンを投影光学系を介して感光基板上に投影することで、そのマスク上の転写用パターンを感光基板上に転写する投影露光装置において、その紫外波長域の照明光の照射に依存した投影光学系の減衰率変化（透過率変化又は反射率変化）を計測するセンサと、そのセンサの出力に基づいて、露光中の感光基板上での照明光の照度をほぼ一定に維持する制御装置とを有するものである。

斯かる本発明によれば、投影光学系の減衰率変化（透過率変化又は反射率変化）を計測するセンサ（604A）を設けたので、その透過率変動による感光基板上での照度変動や照度むらを防止できる。

また、減衰率変化（透過率変化又は反射率変化）を計測するセンサは、感光基板からの反射光の少なくとも一部を受光することが望ましい。これにより、露光中に、感光基板上での照明光の照度変化を計測することができる。

さらに、マスクに入射する紫外波長域の照明光の一部を受光する受光素子を更に設け、制御装置は、その受光素子と前述のセンサ（604A）の各出力を用いることが望ましい。これにより、受光素子の出力に基づいて感光基板上での積算光量を適正ドーズ量に制御する際の、前述の減衰率変動（透過率変動又は反射率変動）により生じる感光基板上での露光量誤差を、上記センサ（604A）の出力を利用して補正することができる。

また、感光基板上での照明光の照度として、少なくとも投影光学系の露光領域内の平均照度（即ち、積算露光量）、又は投影光学系の露光領域内の照度むらを計測することが望ましい。これにより、感光基板上の露光領域内での露光量を適正な値に制御することができる。

また、紫外波長域の照明光でマスク上の転写用パターンを照明し、そのマスク上の転写用パターンを投影光学系を介して感光基板上に投影することで、そのマスク上の転写用パターンを感光基板上に転写する投影露光装置において、その紫外波長域の照明光の照射に依存した投影光学系の減衰率変化（透過率変化又は反射率変化）に基づく投影光学系の結像特性（例えば投影倍率、焦点位置、及びザ

イデルの5収差の少なくとも一つ)の変化を検出するセンサ(606A)と、そのセンサの出力に基づいて投影光学系の結像特性を制御する制御装置とを有するものである。

- 5 斯かる本発明によれば、投影光学系の結像特性変化を検出するセンサ(606A)を設けたので、前述の減衰率変動(透過率変動又は反射率変動)による投影光学系の結像特性の変動を防止できる。

また、紫外波長域の照明光でマスク上の転写用パターンを照明し、投影光学系に対してマスクと感光基板とを同期移動することで、マスク上の転写用パターンを逐次感光基板上に転写する投影露光装置において、その紫外波長域の照明光の  
10 照射に依存した投影光学系の減衰率変化(透過率変化又は反射率変化)に基づいて、感光基板上での照明光の強度、感光基板の走査速度、及び感光基板の走査方向に関する照明光の照射領域の幅の少なくとも一つを調整する調整装置を有するものである。

- 15 斯かる本発明によれば、マスクと感光基板との同期移動中に投影光学系の減衰率(透過率又は反射率)が変動しても、常に感光基板に適正な露光量を与えることができる。

また、紫外波長域の照明光がパルス光であるときは、パルス光の発振周波数、照明光の強度、感光基板の走査速度、及び照明領域の幅の少なくとも一つの調整を行うようにすることが望ましい。

- 20 また、本発明によるマイクロデバイス(例えば半導体素子、撮像素子(CCD等)、液晶表示素子、又は薄膜磁気ヘッド)の製造方法は、紫外波長域の照明光でデバイスパターンを照射し、投影光学系によって投影されるデバイスパターンの像で基板を露光するフォトリソグラフィ工程を含むマイクロデバイスの製造方法において、露光中、その紫外波長域の照明光の照射による投影光学系の減衰率  
25 変化(透過率変化又は反射率変化)に基づいて、基板上での照明光の照度、照度むら、及びデバイスパターンの像特性(例えば倍率、焦点位置、及びザイデルの5収差の少なくとも一つ)を検出するものである。

斯かる本発明によれば、投影光学系の透過率が変動しても、常に適正な露光量、良好な結像状態で、デバイスパターンの像で基板を露光することができ、歩留り

を低下させることなく微細なマイクロデバイスを製造することが可能となる。

#### 図面の簡単な説明

図 1 は本発明の第 1 の態様の実施に好適な投影露光装置の全体構成を示す図である

- 5 図 2 は本発明の一実施例における透過率計測時の投影光学系内の計測光路を説明する原理図である。

図 3 は投影光学系の瞳面の近傍に配置される反射部材を備えた透明板の構成を示す平面図である。

図 4 は図 3 に示した透明板の中央部分の断面図である。

- 10 図 5 は図 1 の投影露光装置に適用される透過率計測手段の具体的な構成を Y-Z 面内で示す図である。

図 6 は図 5 に示した構成を X-Z 面内で示す図である。

図 7 は図 1 中のレチクルステージの詳細な外観と透過率計測時の状態とを示す斜視図である。

- 15 図 8 は本発明の第 2 の実施例による透過率計測手段の具体的な構成を説明するためのウェハステージの部分断面図である。

図 9 は図 8 の透過率計測手段に設けられた遮光板の構成と配置例とを示す平面図である。

- 20 図 10 は減衰率計測時（透過率計測時）に投射される計測用ビームを生成する光学系の一例を示す図である。

図 11 は図 5, 6, 8, 9 に示した透過率計測手段に設けられた各光電検出器からの光電信号を処理する処理回路の構成を示す図である。

- 25 図 12 は露光量制御用のインテグレータセンサーの出力をキャリブレーションするために、図 11 中のプロセッサで実行される較正プログラムの流れを示すフローチャート図である。

図 13 はパルス発光の照明のもとで走査露光を行なう際の露光量の計測方法を説明するグラフである。

図 14 は図 5, 6, 8, 9 の各透過率計測手段による計測動作を実行するための透過率計測プログラムの流れを示すフローチャート図である。

図 1 5 は計測される透過率に対応した値と露光条件を補正するための補正係数との変動特性の一例を示すグラフである。

図 1 6 は投影光学系の瞳面近傍に配置される反射部材の他の構成と、反射ビームを受光する検出器の他の配置とを示す図である。

- 5 図 1 7 は投影光学系の瞳面近傍に配置される反射部材の他の構成と、投影光学系の他の構成とを示す図である。

図 1 8 は透過率計測手段の第 3 の実施例による構成を示す図である。

図 1 9 は本発明が適用される投影露光装置に搭載可能な各種の投影光学系の概略構成を示す図である。

- 10 図 2 0 は本発明の第 2 の態様の走査型投影露光装置の一例を示す全体的な構成を示す図である。

図 2 1 は図 2 0 に示した投影露光装置の照明光学系と投影光学系の双方の光路と透過率計測用のモニター光の光路とを模式的に説明する図である。

- 15 図 2 2 は透過率計測のためのレチクルと投影光学系の視野との位置関係の一例を示す平面図である。

図 2 3 は照明光学系と投影光学系の双方による透過率変動の特性の一例を示すグラフである。

図 2 4 は透過率計測のために投影光学系の下端面に設けられる光電検出手段の変形例を説明する断面図である。

- 20 図 2 5 は図 2 0 に示した露光制御ユニットの詳細な回路構成を示す回路ブロック図である。

図 2 6 は本発明の第 2 の態様において実施例として追加されるウェハステージ側の照度検出器の構成を示す図である。

- 25 図 2 7 は図 2 6 の照度検出器によって照明光学系と投影光学系の双方の透過率を計測し、図 2 0、図 2 4 中の透過率計測用の検出器を較正する際のレチクルの位置を説明する図である。

図 2 8 は本発明の第 2 の態様において別の実施例による透過率計測用の光電検出器の構成を説明する図である。

図 2 9 は本発明の第 3 の態様の走査型投影露光装置の実施の形態の一例を示す

概略構成図である。

図 3 0 は図 2 9 中の投影光学系 P L の構成を示す縦断面図である。

図 3 1 は図 3 0 の投影光学系 P L の照明領域と露光領域との関係、及びその露光領域の変形例を示す説明図である。

- 5 図 3 2 は図 2 9 中のオフ・アクシス方式のアライメントセンサ 5 2 8 の構成を示す部分断面図である。

図 3 3 は図 2 9 中の多点の A F センサの構成を示す部分断面図である。

図 3 4 は図 2 9 のウエハ側のレーザ干渉計と投影光学系との関係を示す平面図である。

- 10 図 3 5 は試料台部分を示し a) は図 3 4 の試料台 5 2 1 を + X 方向に見た側面図、(b) は移動鏡 5 2 4 m Y に入射する 3 軸のレーザビームを示す斜視図である。

図 3 6 は図 2 9 中の基準パターン部材 F M からの反射光を受光する反射光検出系 5 3 0 の構成を示す縦断面図である。

- 15 発明を実施する最良の形態

本発明の第 1 の態様の実施に好適な投影露光装置の全体構成を図 1 を参照して説明する。図 1 は、波長 1 9 2 ~ 1 9 4 n m の間で酸素の吸収帯を避けるように狭帯化された A r F エキシマレーザ光源 1 を用い、レチクル R の回路パターンを投影光学系 P L を通して半導体ウエハ W 上に投影しつつ、レチクル R とウエハ W とを相対走査するステップアンドスキャン方式の投影露光装置の構成を示す。

- 20 図 1 において、A r F エキシマレーザ光源 1 の本体は防振台 2 を介して半導体製造工場のクリーンルーム内（場合によってはクリーンルーム外）の床 F D 上に設置される。そしてレーザ光源 1 本体には、キーボードやタッチパネル等の入力ユニットを含む専用の光源制御系 1 A とディスプレイ 1 B とが設けられ、レーザ光源 1 から射出されるパルス光の発振中心波長の制御、パルス発振のトリガ制御、  
25 レーザチャンバー内のガスの制御等が自動的に行われる。

A r F エキシマレーザ光源 1 から射出する狭帯化された紫外パルス光は、遮光性のベローズ 3 とパイプ 4 とを通り、露光装置本体との間での光路を位置的にマッチングさせるビームマッチングユニット ( B M U ) 内の可動ミラー 5 A で反射

され、遮光性のパイプ7を介して光量検出用のビームスプリッタ8に達し、ここで大部分の光量が透過し、わずかな部分（例えば1%程度）が光量検出器9の方に反射される。

5 ビームスプリッタ8を透過した紫外パルス光は、ビームの断面形状を整形するとともに紫外パルス光の強度を調整する可変減光系10に入射する。この可変減光系10は駆動モータを含み、図1では不図示の主制御系からの指令に応じて紫外パルス光の減光率を段階的または無段階に調整する。

また可動ミラー5Aはアクチュエータ5Bによって2次元に反射面の方向が調整されるが、ここではレーザ光源1に内蔵された可視レーザ光源（半導体レーザ、  
10 He-Neレーザ等）から紫外パルス光と同軸に射出される位置モニター用のビームを受光する検出器6からの信号に基づいてアクチュエータ5Bがフィードバック、又はフィードフォワード制御される。

そのために可動ミラー5Aは、位置モニター用のビームの波長に対して透過率が高く、紫外パルス光の波長に対して高い反射率を有するように作られ、検出器  
15 6は可動ミラー5Aを透過してきた位置モニター用のビームの受光位置の変化を光電的に検出するような4分割センサー、CCD撮像素子等で構成される。尚、可動ミラー5Aを傾斜させるアクチュエータ5Bの駆動は、検出器6からの信号の代わりに露光装置本体の床FDに対する振動を別途検出する加速度センサーや位置センサーからの信号に応答して行ってもよい。

20 さて可変減光系10を通った紫外パルス光は、所定の光軸AXに沿って配置される固定ミラー11、集光レンズ12、オブチカルインテグレータ（ホモジナイザー）としての第1フライアイレンズ13A、可干渉性を低減するための振動ミラー14、集光レンズ15、第2フライアイレンズ13B、光源像の分布を切替えるための交換可能な空間フィルター16、ビームスプリッタ17、第1結像  
25 レンズ系22、レチクルR上の照明範囲を矩形スリット上に整形する視野絞り開口23Aを含むレチクルブラインド機構23、第2結像レンズ系24、反射ミラー25、及び主コンデンサーレンズ系26からなる照明光学系を通してレチクルRに照射される。

さらに上記の空間フィルター16から射出してビームスプリッタ17を透過し

た数%程度の紫外パルス光は、集光レンズと拡散板を含む光学系18を介して光電検出器19に受光される。本実施例の場合、基本的には光電検出器19からの光電検出信号を露光量制御用の処理回路(詳細は図10にて説明)で演算処理して走査露光時の露光条件が決定されるものとする。

- 5      また図1中のビームスプリッタ17の左側に配置された集光レンズ系20と光電検出器21は、ウェハWに照射される露光用照明光の反射光を投影光学系PLから主コンデンサーレンズ26を介して光量として光電検出するものであり、その光電信号に基づいてウェハWの反射率が検出される。

- さて以上の構成において、第1フライアイレンズ13Aの入射面、第2フライ  
10    アイレンズ13Bの入射面、レチクルブラインド機構23の開口23Aの面、レチクルRのパターン面は、光学的に互いに共役に設定され、第1フライアイレンズ13Aの射出面側に形成される光源面、第2フライアイレンズ13Bの射出面側に形成される光源面、投影光学系PLのフーリエ変換面(射出瞳面)は光学的に互いに共役に設定され、ケーラー照明系となっている。従ってレチクルブライ  
15    ンド機構23内の視野絞り開口23Aの面とレチクルRのパターン面とで、紫外パルス光は一樣な強度分布の照明光に変換される。なお、第1及び第2のフライアイレンズ13A、13Bの少なくとも一方をロッド・インテグレータとしてもよい。ロッド・インテグレータではその入射面が投影光学系PLのフーリエ変換面等と光学的に共役に設定され、かつその射出面がレチクルRのパターン面など  
20    と光学的に共役に設定される。

- レチクルブラインド機構23内の視野絞り開口23Aは、本実施例では例えば特開平4-196513号公報(米国特許第5,473,410号)に開示されているように、投影光学系PLの円形視野内の中央で走査露光方向と直交した方向に直線スリット状または矩形状に伸びるように配置される。さらにレチクルブ  
25    ラインド機構23内には、視野絞り開口23AによるレチクルR上での照明視野領域の走査露光方向の幅を可変とするための可動ブラインドが設けられ、この可動ブラインドによって特開平4-196513号公報に開示されているように、レチクルRの走査移動時のストロークの低減、レチクルR上の遮光帯の幅の低減を図っている。

こうしてレチクルブラインド機構 2 3 の照明視野絞り開口 2 3 A で一様な強度分布とされた紫外パルス照明光は、結像レンズ系 2 4 と反射ミラー 2 5 を介して主コンデンサーレンズ系 2 6 に入射し、レチクル R 上の回路パターン領域の一部を開口 2 3 A のスリット状または矩形状の開口部と相似な形状となって一様に照射する。

ところで、図 1 中のビームスプリッタ 8 から主コンデンサーレンズ系 2 6 までの照明光学系は、外気に対して気密状態にする照明系ハウジング（不図示）内に設けられ、その照明系ハウジングは露光装置本体を床 F D 上に設置するための定盤 4 9 の一部に立設された支持コラム 2 8 上に取り付けられる。また照明系ハウジング内は、空気（酸素）の含有濃度を数%以下、望ましくは 1 % 未満にしたクリーンな乾燥窒素ガスやヘリウムガスによって充填される。

一方、レチクル R はレチクルステージ 3 0 上に吸着固定され、そのステージ 3 0 の位置はレーザ干渉計 3 2 によってリアルタイムに計測されつつ、リニアモータ等を含む駆動ユニット 3 4 によって走査露光時には図 1 中の左右方向（Y 方向）に所定の速度  $V_r$  で 1 次元移動される。尚、レーザ干渉計 3 2 は、レチクルステージ 3 0 の走査方向（Y 方向）の位置変位の他に非走査方向（X 方向）の位置変位と回転変位とをリアルタイムに計測し、駆動ユニット 3 4 の駆動モータ（リニアモータやボイスコイルモータ等）は走査露光時に計測されるそれらの位置変位と回転変位とが所定の状態に保たれるようにステージ 3 0 を駆動する。

以上のレチクルステージ 3 0、レーザ干渉計 3 2、駆動ユニット 3 4 は露光装置本体の支持コラム 3 1 A の上方に取り付けられ、駆動ユニット 3 4（リニアモータの固定子）が固定される支持コラム 3 1 A の上端部には、レチクルステージ 3 0 の走査移動時の加速期間中、または減速期間中に生じる走査方向の反力を吸収するためのアクチュエータ 3 5 が設けられ、そのアクチュエータ 3 5 の固定子は取付け部材 3 6 A を介して定盤 4 9 の一部に立設された支柱 3 6 B に固定される。

さて、レチクル R が紫外パルス照明光で照射されると、レチクル R の回路パターンの照射部分の透過光が投影光学系 P L に入射し、その回路パターンの部分像が紫外パルス照明光の各パルス照射のたびに投影光学系 P L の像面側の円形視野

の中央にスリット状または矩形状（多角形）に制限されて結像される。そして投影された回路パターンの部分像は、投影光学系 PL の結像面に配置されたウェハ W 上の複数のショット領域のうちの 1 つのショット領域表面のレジスト層に転写される。

- 5     その投影光学系 PL のレチクル R 側には、走査露光時に発生するダイナミックな歪曲収差、特にランダムなディストーション特性を低減するための像歪み補正板（石英板）40 が配置される。この補正板 40 は、その表面を局所的に波長オーダーで研磨加工し、投影視野内における部分的な結像光束の主光線を微小に偏向させるものである。
- 10    また投影光学系 PL には、内部の特定のレンズ素子を光軸方向に平行移動させたり、微小傾斜させたりすることで、結像特性（投影倍率やある種のディストーション）を、露光すべきウェハ W 上のショット領域の歪み状態の検出結果、投影光路内の媒体（光学素子や充填される気体）の温度変化の検出結果、大気圧変化による投影光学系 PL 内の内圧変化の検出結果に基づいて自動調整するための
- 15    アクチュエータ 41 A, 41 B が設けられている。

なお、投影光学系 PL は、本実施例では屈折光学素子（石英レンズと蛍石レンズ）のみで構成され、物体面（レチクル R）側と像面（ウェハ W）側とが共にテレセントリックな系になっている。

- ところで、ウェハ W は投影光学系 PL の像面と平行な XY 平面に沿って 2 次元
- 20    移動するウェハステージ 42 上に吸着固定され、そのステージ 42 の位置は投影光学系 PL の鏡筒下端に固定された基準鏡 M<sub>r</sub> を基準としてウェハステージ 42 の一部に固定された移動鏡 M<sub>s</sub> の位置変化を計測するレーザ干渉計 46 によってリアルタイムに計測される。その計測結果に基づいてウェハステージ 42 は複数個のリニアモータを含む駆動ユニット 43 によって、ステージベース板 31 D 上
- 25    を二次元移動される。

駆動ユニット 43 を構成するリニアモータの固定子は、ベース板 31 D から独立した支持フレームを介して定盤 49 上に取り付けられ、ウェハステージ 42 の移動加速時や減速時に発生する反力をベース板 31 D ではなく床 F D に直接伝えるようになっている。このため走査露光時のウェハステージ 42 の移動に伴う反

力が露光装置本体に加えられることが皆無となり、露光装置本体に生じる振動や応力が激減される。

尚、ウェハステージ42は走査露光時には図1中の左右方向（Y方向）に速度Vwで等速移動され、X、Y方向にステップ移動され、そしてレーザ干渉計46  
5 は、ウェハステージ42のY方向の位置変位の他にX方向の位置変位と回転変位とをリアルタイムに計測し、駆動ユニット34の駆動モータ（リニアモータ等）は走査露光時に計測されるそれらの位置変位が所定の状態になるようにステージ42をサーボ駆動する。

またレーザ干渉計46によって計測されたウェハステージ42の回転変位の情  
10 報は、主制御系を介してレチクルステージ30の駆動ユニット34にリアルタイムに送られ、そのウェハ側の回転変位の誤差がレチクルR側の回転制御で補償されるように制御される。

さて、ステージベース板31Dの4隅はアクティブなアクチュエータを含む防振台47A、47B（図1では不図示の47C、47D）を介して定盤49上に  
15 支持され、各防振台47A、47B（47C、47D）の上には支柱31Cが立設され、その上には投影光学系PLの鏡筒外壁に固定されたフランジFLGを固定するコラム31Bが設けられ、さらにコラム31Bの上に上記の支持コラム31Aが取り付けられている。

以上の構成で防振台47A、47B（47C、47D）の各々は、露光装置本  
20 体の床FDに対する姿勢変化をモニターする姿勢検出センサーからの信号に応答して、本体の姿勢がレチクルステージ30、ウェハステージ42の移動に伴う重心変化に拘わらず常に安定するようにステージベース板31D、支柱31CのZ方向の位置をフィードバック制御とフィードフォワード制御によって独立に移動させる。

25 ところで図1中には示していないが、露光装置本体の各駆動ユニットやアクチュエータ類は主制御系によって統括的に制御されるが、その主制御系の下には個々の駆動ユニットやアクチュエータを具体的に制御する中間的なユニット制御器が設けられている。そのようなユニット制御器として代表的なものは、レチクルステージ30の移動位置、移動速度、移動加速度、位置オフセット等の各種情報

を管理するレチクル側制御器と、ウェハステージ42の移動位置、移動速度、移動加速度、位置オフセット等の各種情報を管理するウェハ側制御器である。

そして主制御系は、特に走査露光時にはレチクルステージ30のY方向の移動速度 $V_r$ とウェハステージ42のX方向の移動速度 $V_w$ とが投影光学系PLの投影倍率（1/5倍或いは1/4倍）に応じた速度比に維持されるようにレチクル側制御器とウェハ側制御器を同期制御する。

また主制御系は、上述のレチクルブラインド機構23内に設けられている可動ブラインドの各ブレードの移動を走査露光時のレチクルステージ30の移動と同期制御するための指令を送出する。さらに主制御系は、ウェハW上のショット領域を適正露光量（目標露光量）で走査露光するための各種の露光条件を設定するとともに、エキシマレーザ光源1の光源制御系1Aと可変減光系10とを制御する露光用制御器とも連携して最適な露光シーケンスを実行する。

以上の構成の他に、本実施例ではレチクルRの初期位置をアライメントするためのレチクルアライメント系33がレチクルRと主コンデンサーレンズ系26との間の照明光路外に設けられ、レチクルR上の遮光帯で囲まれた回路パターン領域の外側に形成されたマークを光電的に検出する。またコラム31Bの下側にはウェハW上の各ショット領域毎に形成されたアライメントマークを光電的に検出するためのオフ・アクシス方式のウェハアライメント系52が設けられる。

さらに、照明系ハウジングを支持する支持コラム28と露光装置本体の一部であるコラム31Aとの間には、照明光学系の光軸（主コンデンサーレンズ系26の光軸）と投影光学系PLの光軸との位置的な安定性を維持するための非接触方式のアクチュエータ60が設けられている。そのアクチュエータ60は、例えばローレンツ推力を発生するボイスコイル、磁気反発力と吸引力による推力を発生するEコア型電磁石等で構成され、支持コラム28とコラム31Aとの間の距離変化を検出するセンサーからの信号が一定値になるように駆動される。

また図1に示した投影光学系PLの鏡筒内部の空間（複数のレンズ素子の間の空間）全体には、照明系ハウジングと同様に酸素の含有量を極めて小さくした不活性ガス（乾燥窒素ガス、ヘリウムガス等）が充填され、その不活性ガスは僅かな漏れを補う程度の流量で鏡筒内に供給されている。尚、不活性ガスの供給は、

照明系ハウジングや投影光学系 P L の鏡筒の気密性が高い場合は、一度大気との完全な置換が行なわれた後はそれ程頻繁に行う必要もない。

しかしながら、光路内に存在する各種の物質（硝材、コート材、接着剤、塗料、金属、セラミックス等）から生じる水分子やハイドロカーボン分子等が光学素子の表面に付着して起こる透過率変動を考慮すると、温度制御された不活性ガスを光路内で強制的にフローさせつつ、ケミカルフィルタや静電フィルタによってそれらの不純物の分子を除去していくことも必要となる。

ところで以上の図 1 の全体構成において、投影光学系 P L は屈折光学素子のみで構成されるディオプトリック系としたが、屈折光学素子と凹面鏡（或いは凸面鏡）とを組み合わせたカタディオプトリック系にすることも可能である。いずれの系であっても、投影光学系 P L の物体面側と像面側はテレセントリックな系にすることが望ましい。

また、エキシマレーザ光源を走査方式の投影露光に利用する場合のパルス発光の制御方式については、例えば特開平 6 - 1 3 2 1 9 5 号公報（米国特許第 5, 4 7 7, 3 0 4 号）、特開平 7 - 1 4 2 3 5 4 号公報（米国特許第 5, 5 3 4, 9 7 0 号）、或いは特開平 2 - 2 2 9 4 2 3 号公報に開示されており、必要であればそれらの公報に開示された技術をそのまま、或いは若干変形して利用することができる。さらに、可変減光系 1 0 を用いてエキシマレーザ光源 1 からのパルス照明光のエネルギーを調整したり、レーザ光源 1 の発振強度（ピーク値）自体を微調整したりすることで露光量を制御する方式は、例えば特開平 2 - 1 3 5 7 2 3 号公報（米国特許第 5, 3 0 7, 2 0 7 号）に開示されており、本実施例においても必要であればその公報に開示された技術をそのまま、或いは若干変形して利用することができる。

さらに、図 1 の照明光学系には第 1 フライアイレンズ 1 3 A と第 2 フライアイレンズ 1 3 B が設けられているが、このように 2 つのフライアイレンズ（オプティカルインテグレータ）をタンディムに配置した照明系は、例えば特開平 1 - 2 3 5 2 8 9 号公報に開示されており、本実施例においても同様に適用されている。

そして図 1 中に示したレチクルステージ 3 0 としては、走査露光時の加減速によって発生する反力を運動量保存則に基づいて相殺する構造を採用した特開平 8

－ 6 3 2 3 1 号公報の方式が適用でき、ウェハステージ 4 2 としては 2 次元移動する可動ステージ本体を軽量化するためにリニアモータの固定子を追従可動ステージ体に設けた構造を採用した特開平 8－2 3 3 9 6 4 号公報の方式が適用できる。

- 5       さて、図 1 には示していないが、本実施例では照明光学系や投影光学系 P L の双方の透過率変動を加味した紫外パルス照明光の強度（露光用エネルギー）をほぼリアルタイムに計測するために、投影光学系 P L のフーリエ変換面またはその近傍面に反射部材を配置し、その反射部材に対して紫外パルス照明光から作られる計測用ビームを投射し、その反射光の強度を光電検出する透過率計測手段が設けられているが、以下にそのことを詳細に説明する。

- 10       本実施例では、図 2 に模式的に示すように投影光学系 P L のフーリエ変換面（以下、瞳面とする）E P 内の中央に反射部材 R e を設け、この反射部材 R e に向けて計測用ビーム B 1 又は B 2 を投射する。反射部材 R e は瞳面 E P に配置される透明な石英基板 C P の中央部にはば円形に蒸着形成された金属薄膜であり、計測用ビーム B 1 又は B 2（光源 1 から供給される紫外パルス照明光の一部）に対し
- 15       て良好な反射率（例えば 8 0 % 以上）を有する。

- さて、フランジ F L G を有する投影光学系 P L 内には多数枚のレンズ素子が組み込まれているが、図 2 においてはそのうちの代表的なレンズ系 G A、G B のみ
- 20       が示されている。また図 2 において、P F 1 はレチクル R のパターン面が位置する投影光学系 P L の物体面であり、P F 2 はウェハ W の表面が位置する投影光学系 P L の結像面である。

- そして投影光学系 P L が両側テレセントリックであると、物体面 P F 1 上の物点 P a、P b の各々からの紫外パルス照明光による結像光束 L B a、L B b の各主光線 M L a、M L b（破線）は、投影光学系 P L の光軸 A X と平行な状態で
- 25       投影光学系 P L に入射し、投影光学系 P L の瞳面 E P 内の中心点（光軸 A X の通る点）を通った後、投影光学系 P L からは再び光軸 A X と平行となって像面 P F 2 上の対応する像点 P a'、P b' に向かって進む。

      また結像光束 L B a、L B b の物体面 P F 1 側での開口数 N A r と像面 P F 2 側での開口数 N A w との比（N A r / N A w）は投影光学系 P L の投影倍率と等

しく、像面PF2側の開口数 $NA_w$ が例えば0.8、投影倍率が $1/4$ だとすると、物体面PF1側の開口数 $NA_r$ は0.2になる。開口数 $NA_r$ 、 $NA_w$ は、概ね投影光学系PLの瞳面EPの有効径と投影光学系PLの焦点距離とによって決まり、瞳面EPの有効径が大きくなれば開口数 $NA_w$ 、 $NA_r$ も増大し、それ  
5 だけ解像力が向上する。

この投影光学系PLは、物体面PF1から瞳面EPの間と瞳面EPから像面PF2の間とが、極めて精密なフーリエ変換系（或いは逆フーリエ変換系）となっている。そのため、投影光学系PLの物体面PF1側からコリメートされた計測用ビームB2（平行光束）を光軸AXと平行に投影光学系PLに入射すると、その計測用ビームB2は瞳面EPの中心点で収斂する。同様に像面PF2側からコ  
10 リメートされた計測用ビームB1（平行光束）を光軸AXと平行に投影光学系PLに入射すると、その計測用ビームB1は瞳面EPの中心点で収斂する。

本実施例では瞳面EPの中央に反射部材Reが配置されているので、物体面PF1側からの計測用ビームB2はそこで光軸AXに対して対称的な角度で反射され、反射ビームB2'となって物体面PF1側に平行光束となって戻ってくる。  
15 同様に、像面PF2側からの計測用ビームB1はそこで光軸AXに対して対称的な角度で反射され、反射ビームB1'となって像面PF2側に平行光束となって戻ってくる。

従って、物体面PF1側から投影光学系PLに投射する計測用ビームB2の強度と、瞳面EPの反射部材Reで反射されて物体面PF1側に戻る反射ビームB2'の強度とを比較すると、投影光学系PLの物体面PF1から瞳面EPまでの間の光路における透過率やその変動を検知することができ、また像面PF2側から投影光学系PLに投射する計測用ビームB1の強度と、瞳面EPの反射部材Reで反射されて像面PF2側に戻る反射ビームB1'の強度とを比較すると、投影光学系PLの像面PF2から瞳面EPまでの間の光路における透  
20 過率やその変動を検知することができる。

以上の計測用ビームB1'、B2'はいずれも露光用照明光の照射（フライアイレンズ系13A～主コンデンサーレンズ系26の系を通る紫外パルス照明光）とは独立に、図1中のエキシマレーザ光源1から射出して、例えば図1中の反射

ミラー 11 のところで一部分割されて作られる。また露光用照明光の照射と計測用ビーム B 1'、B 2' の照射とを独立にするためのシャッター等が適宜設けられている。

ところで反射部材 R e は、具体的には図 3、図 4 に示すように構成される。図 3 は反射部材 R e が形成される石英基板（平行平板）C P の平面を示し、図 4 はその部分断面を示しており、石英基板 C P は投影光学系 P L の瞳面 E P の実効的な直径（破線で示す）よりも大きな直径の円形で構成され、反射部材 R e はその中央に十分に小さな直径で円形に蒸着形成される。

本実施例の場合、石英基板 C P は投影光学系 P L 内に固定的に配置されるため、反射部材 R e は走査露光時にレチクル R のパターンをウェハ W 上に投影する際のパターン結像光束に対して遮蔽体となってしまう。しかしながら投影光学系 P L の瞳面 E P 内に分布するパターン結像光束のうち、瞳面 E P の中央部である程度までの直径範囲であれば、そこを遮蔽しても解像力や像質に大きな影響を与えることはない。

その影響を避けるために、反射部材 R e の直径は瞳面 E P の実効的な直径に対して  $1/10 \sim 1/5$  程度に設定されるが、もちろん計測用ビーム B 1、B 2 に対して十分な遮光面積が確保される範囲で極力小さい方が望ましい。また図 3、図 4 の反射部材 R e は石英基板 C P の片面にのみ形成されているが、両面に形成してもよい。さらに反射部材 R e は計測用ビーム B 1、B 2 に対して透過性でないことが望ましい。なお石英基板 C P は、ここでは平行平板としたが投影光学系 P L の瞳面 E P の近傍に位置するレンズ素子としてもよく、その場合はレンズ素子の表面の中央に反射部材 R e を蒸着形成しておけばよい。

次に図 5、6 を参照して、図 1 に示した装置に適用される透過率計測手段の具体的な構成の一例を説明する。図 5 は、図 1 中の照明光学系のうちのレチクルブラインド機構 23 からコンデンサーレンズ系 26 までの系を示す。透過率計測手段 80 は、集光レンズ系 24 とコンデンサーレンズ系 26 との間に配置されたミラー 25 の一部に形成された半透過部を介して計測用ビーム B 2 をコンデンサーレンズ系 26、投影光学系 P L に向けて投射し、瞳面 E P の反射部材 R e で反射してコンデンサーレンズ系 26 まで戻ってくる反射ビーム B 2' をミラー 25 の

半透過部を通して受光するように構成される。

先に説明したように、レチクルブラインド機構 23 には、矩形スリット状の開口が形成された固定ブラインド 23A と、レチクル R に照射される矩形スリット状の照明光の走査方向の幅を可変にするための一対の可動ブレード 23C、23D とが設けられる。この可動ブレード 23C、23D は、特開平 4-196513 号公報（米国特許第 5,473,410 号）に開示されているように夫々駆動モータ 23B1、23B2 によって、走査露光時のレチクル R の Y 方向の走査移動位置に連動して駆動される。

そして固定ブラインド 23A と可動ブレード 23C、D とは光軸 AX に沿って接近して配置され、集光レンズ系 24 とコンデンサーレンズ系 26 との合成系によって投影光学系 PL の物体面 PF1（レチクル R のパターン面）と共役になるように設定されている。従って集光レンズ系 24 とコンデンサーレンズ系 26 との間のミラー 25 の近傍には、投影光学系 PL の瞳面 EP と共役な面 EP1（フーリエ変換面）が形成される。

そこで透過率測定手段 80 は、図 1 中の例えばミラー（ビームスプリッタ）11 で分岐されるエキシマレーザ光源 1 からの平行ビームを計測用ビーム B2 として入射する。計測用ビーム B2 は、ビームスプリッタ 82 で透過ビームと反射ビームとの 2 つに分割され、透過ビームは送光側のビーム強度を計測する光電検出器 86A で受光される。ビームスプリッタ 82 での反射ビームはレンズ系（フーリエ変換レンズ）84 を介して面 EP1 で収斂された後、ミラー 25 を透過してコンデンサーレンズ 26 に入射し、再び光軸 AX と平行な平行ビーム B2 となって投影光学系 PL の物体面 PF1 を垂直に通過する。

ところで図 5 においては、コンデンサーレンズ 26 から射出するビーム B2 は投影光学系 PL の光軸 AX と重なるように示されているが、実際は図 6 に示すように光軸 AX からは偏心している。図 6 は、図 5 の透過率測定手段 80、ミラー 25、コンデンサーレンズ 26 を図 5 の右側から見た様子を示し、ビームスプリッタ 82 で反射したビーム B2 はレンズ系 84 に偏心して入射するように設定されている。

このため、コンデンサーレンズ 26 から射出するビーム B2 は、図 6 のように

Z-X平面で見ると光軸AXに対してX方向（非走査方向）の右側を偏心して進む。従って先の図2で説明したように、計測用ビームB2はコリメートされた状態で投影光学系PLに入射し、投影光学系PLの瞳面EPに配置された反射部材Reで反射されたビームB2'が投影光学系PLの物体面PF1面側に戻ってくる。

このとき反射ビームB2'は、光軸AXに関して計測用ビームB2と対称的な光路に沿ってコンデンサーレンズ26、ミラー25、レンズ系84の順に進み、ビームスプリッタ82を透過して光電検出器86Bに受光される。この光電検出器86Bからの検出信号SS2は、基準となる光電検出器86Aからの検出信号SS1とともに処理回路（詳しくは図10で説明する）によって演算処理され、投影光学系PLの物体面PF1面と瞳面EPとの間の透過率やその変動等の計測に使われる。

その2つの光電検出器86A、86Bによる透過率計測は、基本的にはエキシマレーザ光源1からの1パルスの発光時に出力される信号SS1、SS2の強度比Ir（SS2/SS1）を求めれば良く、また透過率の変動を知りたいときは所定時間前に記憶しておいた強度比Ir'との比（Ir/Ir'）を演算して求めれば良い。

ただし、2つの光電検出器86A、86Bによって計測される透過率（強度比Ir）は、あくまでも相対値であって絶対値を表わすものではないので、絶対的な透過率の値を求める際には何らかの較正（キャリブレーション）が必要となる。しかしながら露光量制御の精度向上の観点からは、絶対的な透過率を求めることはそれほど必要なものではなく、むしろ計測された強度比Ir（計測透過率）の時間的な変動、例えば1枚のウェハを露光処理する間、または1ロットのウェハ露光処理の間に生じる計測透過率の変動特性や傾向を知る方が重要である。

以上の図5、6に示した透過率計測手段80の構成において、物体面PF1を通る計測用ビームB2と反射ビームB2'は、投影光学系PLの物体面PF1側の投影視野内に規定される矩形スリット状の露光用照明光の領域を通るように設定され、投影露光時に実際に投影光学系PL内を通るレチクルRからのパターン結像光束の光路に対する計測透過率が正確に測定可能となる。

また図 5, 6 においては、計測用ビーム B 2 と反射ビーム B 2' とが投影光学系 P L の物体面 P F 1 側での光軸 A X に対して対称的に偏心して通るように設定したが、計測用ビーム B 2 と反射ビーム B 2' とを光軸 A X と同軸に通すようにしてもよい。その場合、計測用ビーム B 2 は図 6 中でレンズ系 8 4 の中心を通る  
5 ように設定されるため、透過率計測手段 8 0 内のレンズ系 8 4、ビームスプリッタ 8 2 等が小型にできるといった利点がある。

さらに、計測用ビーム B 2 と反射ビーム B 2' を光軸 A X と同軸に通すようにすると、レンズ系 8 2 の口径とほぼ同程度までにビーム B 2 の直径（平行光束となっている部分での断面積）を大きくできるため、投影光学系 P L 内のより太い  
10 光路内を通して、より平均化された計測透過率を求めることができる。

ところで、図 5, 6 に示した透過率計測手段 8 0 からの計測用ビーム B 2 と投影光学系 P L の瞳面 E P の反射部材 R e からの反射ビーム B 2' は、例えば図 7 に示すように、レチクル R に遮られることなくレチクルステージ 3 0 に形成された開口部 3 0 H を通るよう設定される。その図 7 はレチクルステージ 3 0 上の  
15 構成を模式的に示す斜視図であり、レチクル R はステージ 3 0 上の 4 ヶ所に設けられた吸着部 3 0 K 上に四隅で吸着支持される。

またレチクルステージ 3 0 上には、走査方向（Y 方向）に延設されて非走査方向（X 方向）のステージ位置を計測する干渉計 3 2 からのビーム I B a を反射する移動鏡 3 2 a と、ステージの走査方向（Y 方向）の位置とヨーイング（回転）  
20 量と計測する干渉計 3 2 からのビーム I B b, I B c の各々を反射するコーナールミナレータ 3 2 b, 3 2 c とが取付けられている。

このような構成において、レチクル R 上のパターン領域 P S をウェハ上に走査露光する間は露光用照明系からの矩形スリット状の照明光が、投影光学系 P L の物体面 P F 1 側の投影視野を規定するレンズ群 G A の中心に X 方向に延びるよう  
25 に設定される。一般にレチクル R 上の回路パターン領域 P S は、走査露光の際の 1 次元移動の開始前は露光用照明光の照射領域から Y 方向に所定の助走距離分だけずれた位置に配置される。

図 7 はレチクル R がその助走の開始位置に設定された状態を示し、その助走開始位置において透過率測定手段 8 0 からの測定ビーム B 2 がレチクル R に遮られ

ることなくレチクルステージ30の開口部30Hを通して投影光学系PLのレンズ群GAに入射し、投影光学系PLからの反射ビームB2'が開口部30Hを介して透過率測定手段80に戻ってくる。

- 従って、透過率測定の際にはレチクルR上のパターン領域PSの部分的なパターン遮光の影響や、レチクルR上のベリクルフレームでの遮光の影響を受けることなく、正確な計測が可能となる。尚、走査方向に関してレチクルR上の回路パターン領域PSの外側に比較的大きなスペース（透明部）が確保されているときは、計測ビームB2と反射ビームB2'がそのスペース部を通るようにしてもよく、その場合はレチクルRの透明部を含めた透過率測定が可能となる。
- 10      また図7の構成では、レチクルステージ30の開口部30Hは走査方向の片側にだけ形成されているが、レチクルステージ30のY方向の移動ストロークが確保できる場合は、図7中のコーナー鏡32b、32c側にも同様の開口部を形成しておくことも可能である。このようにレチクルステージ30上の走査方向の両側に開口部30Hを形成すると、レチクルステージ30の助走開始方向が+Y方向と-Y方向のいずれであっても透過率計測が可能となり、計測タイミングの自由15 度や計測シーケンスの自由度が向上すると言った利点もある。

- 次に、投影光学系PLの瞳面EPから像面PF2までの光路内の透過率を計測する手段について、図8、9を参照して説明する。図8は投影光学系PLの一部とウェハステージ42の一部との断面構造を示し、図9は投影光学系PLの像面PF2側の視野IFとウェハステージ42上の遮光部材94との平面的な配置関係の一例を示す。尚、図8において投影光学系PLの瞳面EPに配置された透明板CP（反射部材Re）の下側には、レチクルRからのパターン結像光束に対して逆フーリエ変換を行うレンズ群GB、GCが設けられているものとする。
- 20

- さてウェハステージ42の内部には、エキシマレーザ光源1から平行に射出されるビームLB0を水平に受光するピンホール板90と、そのピンホール板90からの発散光を計測用ビームB1として入射し、それを平行光束にコリメートするレンズ系91と、計測用ビームB1をZ方向（垂直方向）に折り曲げるミラー92とが設けられ、ステージ42の上面には垂直に折り曲げられたビームB1をステージ42の上方に射出する窓94Aが形成された遮光板94が取り付けられ
- 25

ている。

遮光板 9 4 は図 9 に示すように X 方向（非走査方向）に延びた長方形に形成され、ステージ 4 2 の移動によって遮光板 9 4 を X Y 面内の所定の計測位置（図 9 の状態）に配置すると、窓 9 4 A からの計測用ビーム B 1（ここでは円形断面）  
5 は X Y 面内で見ると視野 I F の中心点（光軸 A X の通る点）から X 方向に一定距離だけ離れて位置する。尚、図 9 において投影視野 I F 内で X 方向（非走査方向）に延びた長方形の領域 E I A は、露光用照明系からの照明光の強度分布と相似形状の実効投影領域を表わしている。

こうして遮光板 9 4 の窓 9 4 A から垂直に射出された計測用ビーム B 1 は、図  
10 8 に示すように投影光学系 P L 内のレンズ群 G B、G C によって瞳面 E P の中心に向って収斂し、そこに配置された反射部材 R e で反射される。その反射ビーム B 1' はレンズ群 G B、G C 内で光軸 A X に関して計測用ビーム B 1 と対称的な光路を通して遮光板 9 4 の方に平行光束となって戻ってくる。

そして遮光板 9 4 上の反射ビーム B 1' が戻ってくる位置には、図 9 にも示す  
15 ような窓 9 4 B が形成され、その窓 9 4 B の直下には反射ビーム B 1' の強度または光量を検出する光電検出器 9 6 B が設けられる。そして検出器 9 6 B からの検出信号 S S 4 は処理回路に送られて、投影光学系 P L の瞳面 E P と物体面 P F 1 との間の透過率や透過率変動の測定に使われる。

また、ここでも計測用ビーム B 1 の強度を基準とするために、ビーム L B 0 の  
20 一部（数％程度）を反射するビームスプリッタ 8 9 と、その反射光の強度や光量を検出する光電検出器 9 6 A が設けられ、検出器 9 6 A からの検出信号 S S 3 が処理回路に送られる。透過率や透過率変動の計測に当たっては、検出器 9 6 A、9 6 B の各検出信号 S S 3、S S 4 の比（ $S S 4 / S S 3$ ）が演算される。

以上の図 8、9 において、ビームスプリッタ 8 9、ピンホール板 9 0、レンズ  
25 系 9 1、ミラー 9 2、遮光板 9 4、光電検出器 9 6 A、9 6 B によって透過率計測手段が構成される。そして本実施例の場合、透過率計測手段はウェハステージ 4 2 上に設けられていることから、計測時にはウェハステージ 4 2 を図 8、9 のような状態に位置決めする必要がある。

遮光板 9 4 を、投影視野 I F に対して図 9 のように配置すると、反射ビーム B

1' は遮光板 94 の窓 94B 内に正確に戻ってくるが、その配置から遮光板 94 が例えば右側に  $\Delta X$  だけずれて位置決めされると、反射ビーム B 1' は窓 94B に対して左側に  $2 \cdot \Delta X$  だけずれてしまう。すなわち本実施例の場合、反射ビーム B 1' の投影視野 IF 内における位置は、光軸 AX が通る点に関して常に計測用ビーム B 1 と点対称な関係になる。

従って、図 9 のように計測用ビーム B 1 が光軸 AX を通る X 軸上に位置している場合、光軸 AX から計測用ビーム B 1 の中心までの X 方向の距離が初期値よりも大きくなれば、その増加した分だけ光軸 AX から反射ビーム B 1' の中心までの X 方向の距離も初期値から大きくなる。このため遮光板 94 上の窓 94B の大きさは、反射ビーム B 1' の断面形状の大きさにウェハステージ 42 の位置決め誤差の 2 倍以上の範囲を加味して決められる。

以上の図 8 の構成のように、投影光学系 PL の瞳面 EP よりも像面 PF 2 側のレンズ群 GB, GC に対して計測用ビーム B 1 と反射ビーム B 1' とが異なる光路を進むように設定することによって、先の図 5, 6 の場合と同様にレンズ群 GB, GC 内のより広い部分での透過率変化を計測することができる。

尚、図 8 中に示したミラー 92 をビームスプリッタにし、そのビームスプリッタの下方に光電検出器 96B を配置すると、投影光学系 PL に入射する計測用ビーム B 1 と反射ビーム B 1' とを同軸にすることが可能である。ただしこの場合は、透過率計測時に計測用ビーム B 1 が垂直に射出する遮光板 94 の窓 94A を光軸 AX の直下に位置決めする必要がある。

また図 8 中のミラー 92 をビームスプリッタにした場合は、基準用の光電検出器 96A をそのビームスプリッタの左側に配置することができるので、ビームスプリッタ 89 を省略してエキシマレーザ光源 1 からのビーム LB0 の光量をより有効に利用することが可能である。

尚、図 5, 6 中に示した計測用ビーム B 2 と図 8, 9 中に示した計測用ビーム B 1 とは、例えば図 10 に示すように、図 1 中の照明光学系内の減光器 10、ミラー 11、レンズ系 12 の部分においてミラー 11 をビームスプリッタとし、そのミラー 11 を透過したエキシマレーザ光を、全反射ミラー 102、凸レンズ 103、凹レンズ 104 を介して得るようにする。

この構成において、露光時の照明光の供給と透過率計測時の照明光の供給とを選択的に切り替えるために、ミラー（ビームスプリッタ）11とレンズ系12との間には駆動系100Aによって開閉するシャッター101Aが設けられ、凹レンズ104の後には駆動系100Bによって開閉するシャッター101Bが設けられ、これらのシャッター101A、101Bは互いに相補的に開閉される。尚、駆動系100A、100Bは、この後に説明する図11の処理回路中のプロセッサからの指令で駆動される。

また、図10中の凸レンズ102と凹レンズ104はビーム径を平行光束の状態で縮小するものであり、計測用ビームB1、B2をコリメートして射出する系であればどのようなものでもよく、またビーム径を拡大して射出する系であってもよい。

次に、図11を参照して透過率測定手段の光電検出器86A、86B、96A、96Bからの各信号に基づいて透過率に関する情報を処理する処理回路の構成について説明する。図11の処理回路は、エキシマレーザ光源1から放出される10～20ns程度の極めて持続時間の短いパルス光に応答して正確にその光量を検出するための高速サンプル・ホールド回路（以下、S/H回路とする）120A～120Eと、ホールドされた光量に応じた信号電圧をデジタル値に変換するアナログデジタル変換器（以下、ADCとする）124A、124Bとを中心に構成される。

まず、光電検出器86Aからの検出信号SS1は増幅回路を含むS/H回路120Aに印加され、増幅された信号SS1のパルス波形の面積（光量）はタイミング回路128からのタイミング信号に応答してサンプリングされホールドされ、マルチプレクサ122Aに印加される。同様に、光電検出器96Aからの検出信号SS3は増幅回路を含むS/H回路120Bに印加され、増幅された信号SS3のパルス波形の面積（光量）はタイミング回路128からのタイミング信号に応答してサンプリングされホールドされてマルチプレクサ122Aに印加される。

他の光電検出器86B、96Bからの各検出信号SS2、SS4も同様に増幅回路を含むS/H回路120C、120Dにそれぞれ印加され、増幅された信号

SS 2, SS 4の各パルス波形の面積(光量)はタイミング回路128からのタイミング信号にตอบสนองしてサンプリングされホールドされてマルチプレクサ122Bに印加される。

また図1中に示した光電検出器19からの光電信号は、同様の高速サンプル・  
5 ホールド回路120Eに印加され、増幅された信号はタイミング回路128からの  
タイミング信号にตอบสนองしてサンプリングされ、ホールドされてマルチプレクサ  
122Bに印加される。そしてマルチプレクサ122Aは、ホールドされた信号  
SS 1とSS 3の各光量値のいずれか一方をプロセッサ126からの指令にตอบสนอง  
して選択し、マルチプレクサ122Bは、ホールドされた信号SS 2, SS 4及  
10 び検出器19からの信号の各光量値のいずれか1つをプロセッサ126からの指  
令にตอบสนองして選択する。

マルチプレクサ122Aで選択された1つの光量値はADC124Aに印加され、  
マルチプレクサ122Bで選択された1つの光量値はADC124Bに印加され、  
各ADC124A, 124Bでデジタル値に変換されたデータはプロセッ  
15 サ126に読み込まれる。そしてプロセッサ126は、タイミング回路128への  
指令、マルチプレクサ122A, 122Bへの選択切替え信号の発生、各ADC  
124A, 124Bからのデータの読み込み、及びエキシマレーザ光源1の制  
御系1Aと露光装置本体の主制御系との間の連携を行う。

以上の構成において、プロセッサ126は主に3つの機能を有し、光電検出器  
20 86A, 86B, 96A, 96Bを使って透過率の変動やその傾向を適当な時間  
間隔毎に検出して更新する透過率計測プログラム、露光量制御時に光電検出器1  
9で計測される露光量(積算光量)に基づいて各種の露光条件(レーザ光源1の  
印加電圧(又は充電電圧)、減光器10の減光率、各ステージの走査速度、ブラ  
インド機構23のスリット幅等)を設定する露光条件指定プログラム、及び光電  
25 検出器19で計測される露光量とウェハ上に与えられる実際の露光量との対応関  
係を予めキャリブレーションする較正プログラムである。

そこで、まず図12を参照して較正プログラムの一例を説明する。較正動作に  
当たっては、ステップ300に示すように絶対的な露光量(単位mJ)や照度(m  
W/cm)が計測可能な基準照度計をウェハステージ42上の所定部分に取り付

ける。この基準照度計は、単一のパルス光の照度値と露光量、或いは複数のパルス光の積算露光量とを計測するもので、絶対値に対して±0.5%以下の計測精度を有する。

次に、ステップ302に示すようにキャリブレーション用の標準露光条件を露光装置の主制御系に設定する。その標準露光条件は、使用するウェハ上のレジストに適正露光量(mJ)を与えるのに必要な1パルス光の平均的な照度値*i*(光量)とウェハ上の各点で積算されるパルス光の数(*N*)との積で決まる。

ただし本実施例では走査露光を前提とするため、各点で積算されるパルス光の数*N*(整数)は、ウェハの走査速度を*V<sub>ws</sub>*(mm/S)、ウェハ上での実効投影領域EIA(図9参照)の走査方向に関する幅を*D<sub>ap</sub>*(mm)、そしてエキシマレーザ光源1の発振周波数を*f*(Hz)としたとき、 $N = f \cdot (D_{ap} / V_{ws})$ の関係で設定される。

この数*N*は、実効投影領域EIAの幅*D<sub>ap</sub>*分だけウェハが走査方向に移動している間に発振されるパルス数であり、上記の式の演算によって原則的には端数のない整数である必要がある。実用的な決め方を例挙すると、数*N*はレーザ光源1からのパルス光の強度ばらつき±α%とウェハへの露光量の制御精度±A%とによって概ね決まり、 $A > (\alpha / (\sqrt{N}))$ になるように設定される。

これによって数*N*が例えば*N*=40と決定されると、幅*D<sub>ap</sub>*と周波数*f*との既定値から走査速度*V<sub>ws</sub>*が決定できる。ここで幅*D<sub>ap</sub>*=8mm、周波数*f*=8000Hzとすると、速度*V<sub>ws</sub>*=160mmとなる。これらの数値のうち、数*N*は露光量制御精度を確保するために初期値から大きくはできるが小さくすることはできず、また幅*D<sub>ap</sub>*も投影光学系PLの視野IFの大きさ(直径)により初期値から小さくはできるが大きくすることはできない。

いずれにしろ2つの関係、 $A > (\alpha / (\sqrt{N}))$ と $N = f \cdot (D_{ap} / V_{ws})$ とが成り立つように設定しつつ、1パルス光当たりの光量(照度値*i*)を調整する。そのためには、図1中の減光器10による減光率を調整したり、或いはエキシマレーザ光源1内の放電電圧(ハイボル)を調整したりする。

以上のようにして標準的な露光条件が設定されると、図12のステップ304に示すようにダミー露光動作を行なう。この露光動作の際は、レチクルRがレチ

クルステージ 30 上から取り除かれ、ウェハステージ 42 上の基準照度計の受光窓が投影光学系 PL の直下に位置するようにウェハステージ 42 が位置決めされる。

5       そして投影光学系 PL の像面側での照度計測に当たっては、ウェハステージ 42 を標準露光条件に従って走査移動させるダイナミックな照度計測と、ウェハステージ 42 を静止させたスタティックな照度計測とが選択される。スタティックな照度計測とは、基準照度計の受光窓を実効投影領域 EIA 内に静止させたまま、標準露光条件で設定された走査速度  $V_{ws}$  以外の露光条件に従って静止露光する方式である。

10       本実施例の装置では、ダイナミックな照度計測とスタティックな照度計測とのいずれの方式も利用できるが、ステップ 304 のダミー露光ではダイナミックな照度計測を行なうものとする。従ってステップ 304 では、基準照度計の受光窓が実効投影領域 EIA の直下を Y 方向に横切るようにウェハステージ 42 を速度  $V_{ws}$  で走査移動される。

15       ダミー露光のためのウェハステージの走査移動が終了すると、ステップ 306 に示すように基準照度計の計測値が確認される。その計測値は、ここではウェハステージ 42 の一方向走査によってウェハ上の各点に与えられる露光量を表すものであり、次のステップ 308 ではその計測露光量がレジスト感度から決まる目標露光量と一致しているか否かを判断する。

20       このステップ 308 で目標露光量が得られていないと判断されると、オペレータはステップ 312 に示すように露光条件の修正を行なう。その修正は、主にエキシマレーザ光源 1 のハイボル値の変更、又は減光器 10 による減光率の変更であるが、場合によっては露光用照明光のスリット幅  $D_{ap}$ 、走査速度  $V_{ws}$ 、発振周波数  $f$  も変更される。

25       こうして露光条件が修正されると、ステップ 308 での判断が真 (Yes) となるまで再びステップ 304 からの処理が実行される。そしてステップ 308 において、計測値が目標露光量に対して所定の許容範囲内 (例えば  $\pm 0.2\%$ ) で一致したと判断されると、次のステップ 310 において、ウェハ上に与えられる目標露光量とインテグレートセンサーの出力 (図 1 中の光電検出器 19 による積

算光量の計測値)との対応付けを行なう。

このステップ310での対応付けとは、走査露光時に実効投影領域EIAの走査方向の幅 $D_{ap}$ 分だけウェハステージ42が移動する間に発振されるN個のパルス照明光の検出器19による積算光量値と、基準照度計によって規定された目標露光量との相互の比例関係を求めることである。そのために、先の図11中の  
5 プロセッサ126内にはエキシマレーザ光源1からのパルス照明光の発振と同期して常にN個のパルス照明光の積算光量をモニターするソフトウェア的なランニングウィンドウが設定されている。

そのランニングウィンドウは例えば図13に示すように動作する。図13は横  
10 軸に時間 $t$ を取り、縦軸にパルス照明光の照度(或いは光量)値 $i$ を取って表したパルス照明光の発振特性の一例である。図13に例示するように、エキシマレーザ光源1からのパルス照明光の強度は一定周波数で発振していても各パルス毎にばらつきが生じる。

そこで、ランニングウィンドウの幅として露光条件で決定されたパルス数N(ここでは図示を簡単にするため、 $N=12$ )を設定し、パルス照明光の1パルス  
15 目からNパルス目までの積算光量 $P_1$ 、2パルス目から $(N+1)$ パルス目までの積算光量 $P_2$ 、3パルス目から $(N+2)$ パルス目までの積算光量 $P_3$ 、...のように、順次ランニングウィンドウ内での各積算光量 $P_1$ 、 $P_2$ 、 $P_3$ 、...、 $P_j$ を演算して記憶していく。

このとき、図11に示したプロセッサ126は、光電検出器19、S/H回路1  
20 20E、マルチプレクサ122B、ADC124Bを介して、各パルス照明光毎の照度値(光量値) $i$ のデータを順次読み込み、ランニングウィンドウ内の数N分だけ各照度値(光量値) $i$ のデータを加算しては記憶していく。こうして求められた積算光量 $P_1$ 、 $P_2$ 、 $P_3$ 、...、 $P_j$ の各値は、エキシマレーザ光源1の  
25 発振ばらつきが規格内であって露光条件の設定が良好に行なわれていれば、すなわち図12のステップ308の判断が真のときは目標露光量に対して許容範囲(例えば $\pm 0.4\%$ )内に入っているはずである。

しかしながら、光電検出器19によって計測される積算光量 $P_1$ 、 $P_2$ 、 $P_3$ 、...、 $P_j$ の各値と基準照度計によって規定される目標露光量の値とは、計測セン

サーが全く異なるために直接比較することは困難である。そこでステップ 310  
 では、ウェハ側で目標露光量が得られるときの積算光量  $P_1, P_2, P_3, \dots, P_j$  を図 13 のように求め、その積算光量  $P_1, P_2, P_3, \dots, P_j$  の平均値  
 $P_{av} (= \Sigma (P_n))$  をインテグレータセンサー出力値として算出し、そのとき  
 5 の目標露光量と計測されたインテグレータセンサー出力値  $P_{av}$  との比例定数  $k$   
 を求めて記憶しておく。

その定数  $k$  は以後の露光量制御の基礎となる因子の 1 つであり、定数  $k$  が正確  
 に求まれば、後は光電検出器 19 からの信号をランニングウィンドウ方式で積算  
 した値（図 13 の  $P_1, P_2, \dots, P_j$  の各々に相当）と定数  $k$  とに基づいて正  
 10 確な露光量制御が可能である。尚、ランニングウィンドウ方式は、エキシマレー  
 ザ光源 1 のパルス発光に同期してソフトウェア的にウィンドウを移動させるもの  
 であるが、そのスタートタイミング（どこを 1 パルス目とするかの指定）はオペ  
 レータからの指示やプログラム上の指示によって図 11 中のプロセッサ 126 で  
 任意に設定可能である。

15 以上により図 12 の較正プログラムが完了し、ウェハ上に与えられる絶対的な  
 露光量と光電検出器 19 を使って計測される積算光量値とが定数  $k$  によって対応  
 付けられる。従ってオペレータがウェハ上での新たな目標露光量  $E_d$  を設定した  
 ときは、ランニングウィンドウ方式で計測される積算光量値  $P_n$  を、 $k \cdot E_d$  （  
 或いは  $E_d / k$ ）とするような露光条件がプロセッサ 126 内の露光条件指定プ  
 20 ログラムを介して自動的に、或いは手動で設定される。

次に、図 11 中のプロセッサ 126 によって実行される透過率計測プログラムの  
 一例を、図 14 に示したフローチャートに沿って説明する。図 14 の計測動作  
 は、露光装置の稼働中の適当なタイミング、例えばレチクル R の交換作業後、1  
 ロットのウェハ露光処理の開始時、1 枚のウェハ露光処理の開始時、1 枚のウェ  
 25 ハ露光中の適宜のショット露光毎、ウェハやレチクルの交換作業中または装置の  
 スタンバイ状態中での適当な時間間隔毎に、装置を統括制御する主制御系からの  
 指令に応答して実行される。

また、この図 14 のプログラムは先の図 13 の較正プログラムの実行直後には  
 自動的に実行されるとともに、投影光学系 PL の物体面 PF1 と瞳面 EP との間

の透過率変化（レチクル側の透過率計測）を図 5， 6 の透過率計測手段により計測するか、像面 P F 2 と瞳面 E P との間の透過率変化（ウェハ側の透過率計測）を図 8， 9 の透過率計測手段により計測するかを選択するためのフラグが予め設定される。

- 5     さて図 1 4 のプログラムが実行されると、ステップ 3 2 0 に示すように図 1 3 の較正動作の実行直後か否かが判断され、実行直後であればレチクル側とウェハ側の両方の透過率計測を実行するようにフラグが設定され、ステップ 3 2 2 に示すように図 5， 6 の計測手段を使った物体面－像面間の透過率計測ルーチンが実行される。そのルーチンについては後で詳しく説明する。
- 10    ステップ 3 2 2 のルーチンが終了すると、ステップ 3 2 4 に示すようにレチクル側のみの透過率測定か否かが判断される。ステップ 3 2 0 で較正直後であると判断されている場合、フラグはレチクル側とウェハ側の両方の計測に設定されているから、次のステップ 3 2 6 に示すように図 8， 9 の計測手段を使った像面－瞳面間の透過率計測ルーチンが実行される。そのルーチンの詳細な動作については後で説明する。
- 15

- そして最後にステップ 3 2 8 に示すように、ステップ 3 2 2 のレチクル側の透過率計測で求められた透過率に関するデータと、ステップ 3 2 6 のウェハ側の透過率計測で求められた透過率に関するデータとに基づいて透過率の変動履歴のデータベースを更新する。このデータベースは過去のある時点から現時点までの投影光学系 P L の透過率変化の履歴と、その透過率変化に応じた露光量制御上での補正係数の履歴とが記憶される。その補正係数は透過率変化に基づいて算出され、露光条件の一部に直接作用する演算子である。
- 20

- ところで、先のステップ 3 2 0 で図 1 4 のプログラムの実行タイミングが較正直後ではないと判断されると、ステップ 3 3 0 に示すようにフラグの設定内容を
- 25    チェックし、レチクル側とウェハ側の両方の透過率計測を行うように設定されているときはステップ 3 2 2， 3 2 4， 3 2 6， 3 2 8 が実行される。またステップ 3 3 0 で両側ではないと判断されると、ステップ 3 3 2 に示すようにフラグがウェハ側のみの透過率計測に設定されているか否かが判断される。

そしてステップ 3 3 2 でウェハ側のみの透過率計測であると判断されると、ス

テップ 3 2 6, 3 2 8 が実行され、ステップ 3 3 2 でウェハ側のみの計測ではない（すなわちレチクル側のみの透過率計測である）と判断されると、ステップ 3 2 2, 3 2 4, 3 2 8 が実行される。以上により透過率計測プログラムの動作が終了する。

- 5     次に、図 1 4 中のステップ 3 2 2 の透過率計測ルーチンについて説明する。この計測ルーチンでは、まずレチクルステージ 3 0 が図 7 に示すような位置に設定され、図 1 0 に示したシャッター 1 0 1 A が閉じられてシャッター 1 0 1 B が開放される。そして図 1, 図 1 0 中の減光器 1 0 の減光率を透過率計測に適した値に設定する。

- 10    それから、図 1 1 中のプロセッサ 1 2 6 からの指令でエキシマレーザ光源 1 をトリガして適当なパルス数分だけパルス発振させる。プロセッサ 1 2 6 は、そのトリガに同期して図 1 1 中の光電検出器 8 6 A からの信号 S S 1 の波形レベル（照度）を S/H 回路 1 2 0 A、マルチプレクサ 1 2 2 A、ADC 1 2 4 A を介して読み込み、同時に光電検出器 8 6 B からの信号 S S 2 の波形レベル（照度）  
15    を S/H 回路 1 2 0 C、マルチプレクサ 1 2 2 B、ADC 1 2 4 B を介して読み込む。

- このとき、ADC 1 2 4 A から読み込んだ信号 S S 1 の波形レベルを  $I_{1j}$  ( $j$  はパルス光の数)、ADC 1 2 4 B から読み込んだ信号 S S 2 の波形レベルを  $I_{2j}$  とすると、プロセッサ 1 2 6 は各パルス発光のたびに、透過率に対応した値  
20     $I_{rn}$  を、 $I_{rn} = I_{2j} / I_{1j}$  の演算により逐次求める。そしてパルス発光が終了した後、プロセッサ 1 2 6 は  $n$  個のパルス光毎に求められた透過率対応値  $I_{rn}$  を平均化した値  $I_r$  ( $= [\sum (I_{rn})] / n$ ) を、投影光学系 PL の物体面 PF 1 と瞳面 EP の間の透過率として算出し、その透過率の値  $I_r$  が図 1 4 中のステップ 3 2 8 においてデータベース内に記憶される。

- 25    同様に、図 1 4 中のステップ 3 2 6 の透過率計測ルーチンでは、まずウェハステージ 4 2 が図 8, 9 に示すような位置に設定され、図 1 0 に示したシャッター 1 0 1 A が閉じられてシャッター 1 0 1 B が開放される。そして図 1, 図 1 0 中の減光器 1 0 の減光率を透過率計測に適した値に設定する。

それから、図 1 1 中のプロセッサ 1 2 6 からの指令でエキシマレーザ光源 1 を

トリガして適当なパルス数分だけパルス発振させる。プロセッサ 126 は、そのトリガに同期して図 11 中の光電検出器 96 A からの信号 SS 3 の波形レベル（照度）を S/H 回路 120 B、マルチプレクサ 122 A、ADC 124 A を介して読み込み、同時に光電検出器 96 B からの信号 SS 4 の波形レベル（照度）

5 を S/H 回路 120 D、マルチプレクサ 122 B、ADC 124 B を介して読み込む。

このとき、ADC 124 A から読み込んだ信号 SS 3 の波形レベルを  $I_{3j}$  ( $j$  はパルス光の数)、ADC 124 B から読み込んだ信号 SS 4 の波形レベルを  $I_{4j}$  とすると、プロセッサ 126 は各パルス発光のたびに、透過率に対応した値

10  $I_{wn}$  を、 $I_{wn} = I_{4j} / I_{3j}$  の演算により逐次求める。そしてパルス発光が終了した後、プロセッサ 126 は  $n$  個のパルス光毎に求められた透過率対応値  $I_{wn}$  を平均化した値  $I_w (= [\sum (I_{wn})] / n)$  を、投影光学系 PL の像面 PF 2 と瞳面 EP の間の透過率として算出し、その透過率の値  $I_w$  が図 14 中のステップ 328 においてデータベース内に記憶される。

15 尚、平均化すべきパルス数  $n$  は、主に光電検出時の検出ばらつきによる計測誤差の劣化を改善する目的で設定されるものであるが、その検出ばらつきを無視できるときは 1 パルスの発光で透過率の値  $I_r$ 、 $I_w$  を求めてもよい。

さらに以上のようにして求められた透過率の値  $I_r$ 、 $I_w$  に基づいて、プロセッサ 126 は図 14 中のデータベース更新の際に、露光量制御時の補正係数を演算によって決定する。この場合、図 14 のステップ 320 において図 12 の較正

20 プログラムの実行直後であると判断されたときは、求められた透過率の値  $I_r$ 、 $I_w$  は、データベース内に初期透過率の値  $I_{r0}$ 、 $I_{w0}$  として記憶される。

従って露光量制御時の補正係数は、次回の較正プログラムの実行時まで、今回の較正プログラムの実行時に記憶された目標露光量とインテグレータセンサー

25 出力値（図 12 のステップ 310 で求まる平均積算光量） $P_{av}$  との比例定数  $k$  と、同時に実行される透過率計測プログラムで求まる初期透過率の値  $I_{r0}$ 、 $I_{w0}$  とを基準にして算出される。

具体的には、較正プログラムの実行から時間が経ってから図 14 中のステップ 322 又は 326 の透過率計測プログラムを実行して透過率の値  $I_r$ 、 $I_w$  が求

まると、プロセッサ 126 は露光量制御時の補正係数  $V_e$  を以下のような演算で求める。

$$V_e = (I_r / I_{r0}) \times (I_w / I_{w0})$$

- この補正係数  $V_e$  は、透過率変動が無い場合は当然  $V_e = 1$  であるが、校正プログラムの実行時からの経過時間に応じて何らかの透過率変動が起こると、1 以外の数値になる。その数値は、多くの場合は 1 以下であるが、露光装置の使用状態や校正プログラムの実行時期等によっては 1 以上になることもある。そして補正係数  $V_e$  は、インテグレートセンサー出力値が目標露光量に対応した  $P_{av}$  になるように露光量制御を行なっても、ウェハ上に与えられる実際の露光量が目標値に対して  $(V_e - 1)$  だけ誤差となることを意味している。

- 従って、この場合ウェハ上での実露光量を目標値と一致させるにはインテグレートセンサー出力値が  $(P_{av} / V_e)$  となるように露光量制御すればよい。ただし、実際の目標露光量の値はオペレータからの入力によって任意に変更され得るため、ウェハに与える目標露光量を  $E_g$  とすると、校正プログラムによって求められた比例定数  $k$  によって  $E_g = k \cdot P_{av}$  の関係があるから、ウェハ露光時はインテグレートセンサー出力値（平均積算光量値）が  $(E_g / k \cdot V_e)$  となるように露光量制御すればよい。

- 従って、図 14 のステップ 328 で示したデータベース更新では、図 12 の校正プログラムと図 14 の透過率計測プログラムのステップ 322, 326 が共に実行されたときは比例定数  $k$  と補正係数  $V_e$  とが最新の数値に更新され、図 14 の透過率計測プログラムだけが実行されたときは補正係数  $V_e$  が最新の数値に更新される。ただし、計測された透過率の値  $I_r, I_w$  ( $I_{r0}, I_{w0}$ ) も計測時間や計測タイミングの情報とともに 1 日分、1 週分、或いは 1 月分に渡ってデータベース内に記憶され、透過率の変動特性や傾向の解析、予測に利用される。

- ここで、図 15 を参照して投影光学系 PL の透過率変動の一例を説明するが、図 15 (A) は横軸に時間  $t$  を取り、縦軸に計測された透過率の値  $I_r, I_w$  を取ったグラフであり、図 15 (B) は横軸に時間  $t$  を取り、縦軸に補正係数  $V_e$  の値を取ったグラフである。

図 15 (A) において、時刻  $T_1$  から時刻  $T_2$  までの間は前の露光処理が終了

してロット交換やレチクル交換を行なっている期間であり、露光用照明光が投影光学系 PL 内を通らない期間である。この期間では、投影光学系 PL の鏡筒内に浮遊していた不純物の分子が徐々に光学素子の表面に付着、堆積していくため、時刻 T 1 ~ T 2 の間の適当な時間間隔で透過率計測を行なうと、透過率の値  $I_r$  ,  $I_w$  が徐々に小さくなる傾向を示す。

また図 1 5 (A) 中の時刻 T 2 ~ T 3 の期間は、新たなロット内の複数枚（代表的には 2 5 枚）のウェハが連続して露光処理される期間であり、1 枚のウェハ交換作業とウェハアライメント作業等によるウェハ交換時間（例えば 1 5 ~ 3 0 秒）を除いて、露光用照明光が投影光学系 PL 内を通り続ける。このため、露光用照明光の照射による紫外線洗浄作用によって、投影光学系 PL 内の各光学素子の表面に堆積した不純物の分子が徐々に空間中に放出され、投影光学系 PL の透過率の値  $I_r$  ,  $I_w$  は徐々に大きくなる傾向を示す。

そこで、時刻 T 2 のロット露光処理の開始時に図 1 2 の較正プログラムが実行され、同時に図 1 4 の透過率計測プログラムが実行されるものとする、図 1 5 (B) に示すように時刻 T 2 で決定された補正係数  $V_e$  は 1 に更新される。その後、ロット露光処理中の適当な時間間隔毎に透過率計測プログラムを実行して透過率の値  $I_r$  ,  $I_w$  を求めて補正係数  $V_e$  を算出すると、時刻 T 2 ~ T 3 の間では投影光学系 PL の透過率が徐々に大きくなる傾向にあるため、補正係数  $V_e$  も徐々に大きな値となる。

そして時刻 T 3 でロット露光処理が終了すると、投影光学系 PL の透過率は時刻 T 1 ~ T 2 の場合と同様に徐々に小さくなり、次のロット露光処理が開始される時刻 T 4 までの間の適当な時間間隔毎に透過率測定プログラムを実行して透過率の値  $I_r$  ,  $I_w$  を求めると、補正係数  $V_e$  も徐々に小さくなる傾向の値となって算出される。

そして時刻 T 4 で次のロット露光処理が開始される直前に、再び図 1 2 の較正プログラムと図 1 4 の透過率計測プログラムとが実行されると、補正係数  $V_e$  は時刻 T 4 において再び 1 に更新（リセット）される。ただし、図 1 2 の較正プログラムと図 1 4 の透過率計測プログラムとを図 1 5 中の時刻 T 3 で実行した場合、補正係数  $V_e$  は図 1 5 (B) 中の  $V_e'$  のように平行シフトしたものとなる。

以上の図15に示すように、補正係数 $V_e$ （又は $V_{e'}$ ）は較正プログラムが実施された時点を基準とした投影光学系PLの透過率変動特性を表しており、この補正係数 $V_e$ （又は $V_{e'}$ ）の推移と露光処理動作の各種タイミングとを関連付けてデータベース上に履歴として蓄積しておけば、露光処理されたウェハ上の

5 パターンの線幅や像質を検査する工程で不良が発見された場合に、その原因が露光量制御不良にあったのか否かがただちに確認できるといった利点もある。

尚、図15（A）では、透過率の値 $I_r$ 、 $I_w$ がほぼ同等の特性で変化するものとしたが、投影光学系PL内の光学レンズの構成や配置、使用硝材によっては必ずしも同等の変化を示すとは限らず、どちらか一方の変化が極端に緩慢になること

10 ともある。その場合、露光量制御の要求精度から見て緩慢な透過率変動を示す方については無視してしまうことも可能である。すなわち、投影光学系PLの物体面から瞳面までの透過率変動と瞳面から像面までの透過率変動とのうちのいずれか一方を、先の図5、6の透過率計測手段と図8、9の透過率計測手段との一方だけを使って計測すればよい。

15 次に、本発明が適用される他の実施例について図16、17を参照して説明する。まず図16は、先の図2に対応した投影光学系PLの構成を示し、瞳面EPに配置される反射部材（透明板CP）の構造に特徴があり、特に物体面PF1から瞳面EPまでの投影光路内の透過率計測に使う経路に特徴がある。すなわち図16に示すように、物体面PF1側から入射する計測用ビームB2は投影光学系

20 PLの瞳面EPの中央で透明板CP上に斜設された小さな反射部材 $R_{e'}$ によって横方向に反射され、投影光学系PLの鏡筒内または鏡筒外壁に配置された光電検出器86'によって受光される。

この光電検出器86'は、図5、6中に示した光電検出器86Bの代りに使われるもので、その光電信号に基づいて透過率の値 $I_r$ が同様に計測される。この

25 図16のような構成では、反射部材 $R_{e'}$ からの反射ビームが物体面PF1側に戻ってこないため、先の図5、6中に示した透過率計測手段は単に計測用ビームB2を投射する系だけを備えていればよく、その構成がコンパクトになると言った利点がある。

尚、図16においては斜設された反射部材 $R_{e'}$ が透明板CPの上側にだけ設

けられているが、反射部材  $R e'$  は透明板  $C P$  の下側にも同様に設置できる。その場合は投影光学系  $P L$  の像面  $P F 2$  側から入射する計測用ビーム  $B 1$  を瞳面  $E P$  の近傍で横方向に反射させて光電検出することができるので、図 8、9 に示した透過率計測手段の構成がコンパクトになると言った利点がある。

- 5      また図 17 の実施例は、先の図 2 に対応した投影光学系  $P L$  の構成を示し、瞳面  $E P$  に配置される反射部材  $R e$  (透明板  $C P$ ) の構造に特徴があり、特に物体面  $P F 1$  から瞳面  $E P$  までの投影光路内の透過率計測に使う経路に特徴がある。すなわち図 17 に示すように、物体面  $P F 1$  側から入射する計測用ビーム  $B 2$  は平行光束ではあるが、主光線が光軸  $A X$  に対して傾斜して投影光学系  $P L$  に入射する。このため、投影光学系  $P L$  の瞳面  $E P$  に到達する計測用ビーム  $B 2$  は、瞳面  $E P$  の周辺部の位置で収斂する。

- そこで本実施例では、反射部材  $R e$  が形成された板  $C P a$ 、 $C P b$  を瞳面  $E P$  の周辺部に挿脱可能に配置し、透過率計測時には瞳面  $E P$  の周辺部で計測用ビーム  $B 2$  が通る位置に反射部材  $R e$  が挿入されるように、各板  $C P a$ 、 $C P b$  を駆動機構  $D K a$ 、 $D K b$  によって可動にしておく。このようにすると、瞳面  $E P$  からの反射ビーム  $B 2'$  は物体面  $P F 1$  を通る際に主光線が光軸  $A X$  に対して傾いたものとなるが、コリメートされた状態は維持される。

- 本実施例では、投影光学系  $P L$  の瞳面  $E P$  の全体をカバーするような大きな透明板  $C P$  が不要になるとともに、レチクルのパターンを投影露光している間も、瞳面  $E P$  に何ら遮蔽物が介在しないため、投影露光時のパターン投影像の質を最高の状態に維持でき、またウェハ上に与える露光量のロスも軽減されると言った利点を得られる。

- 尚、図 17 においても、可動反射部材  $R e$  は当然のことながら板  $C P a$ 、 $C P b$  の下側に形成することができ、像面  $P F 2$  側からの計測用ビーム  $B 1$  に対する反射面を設けることができる。その場合、計測用ビーム  $B 1$  はコリメートされた状態のまま光軸  $A X$  に関して傾斜して投影光学系  $P L$  に入射する。

また駆動機構  $D K a$  や  $D K b$  を設けることを前提とすると、可動反射部材  $R e$  は投影光学系  $P L$  の瞳面  $E P$  の全体をカバーするように透明板  $C P$  上に形成し、その透明板  $C P$  全体を投影光学系  $P L$  内に挿入したり、退出したりする構成にし

ても同様の効果が得られる。この場合、透過率計測プログラムが実行されるときは、透明板CPを瞳面EP近傍にスライド移動させ、透過率計測が終了したら透明板CPを投影光路外にスライド移動させればよい。

このようにすると、可動反射部材Reは投影光学系PLの瞳面EPの全体を遮蔽するシャッターとしても機能するので、投影光学系PLの物体面PF1側から計測用ビームB2を投射する際、投影光学系PLの直下にウェハWが位置していても、わずかな迷光による不要な露光が完全に防止できるといった利点がある。

ところで透過率変動は、投影光学系PLだけでなく照明光学系でも同様に起こり得る。例えば図1の露光装置では、露光量制御に当たって図1中の光電検出器19を使うため、その光電検出器19に露光用照明光の一部を分岐するビームスプリッタ17からコンデンサーレンズ系26までの照明光路における透過率変動の影響による露光量の誤差分は、光電検出器19によってはリアルタイムに計測できない。

先に図5、6や図8、9で説明した透過率計測手段を用い、図12、14に示した各プログラムを実行すれば、照明光学系の透過率変動によって起り得る露光量の制御誤差は補正可能であるが、照明光学系自体の透過率変動は計測できない。そこで照明光学系と投影光学系PLとの両方の透過率変動を計測しつつ、露光量制御に補正を加える方式を、図18を参照して説明する。

図18は、先の図5、6に示した透過率計測手段からの計測用ビームB2を、露光用照明光学系（ここではビームスプリッタ17～コンデンサーレンズ系26）を通して供給する構成を示したものである。そして図18において、露光用照明光学系を構成する第2フライアイレンズ13B、ビームスプリッタ17、集光レンズ系22、レチクルブラインド機構23、集光レンズ系24、ミラー25、コンデンサーレンズ系26は、図1に示したものと同じに配置される。

ただし本実施例では、図1中のビームスプリッタ17の左側に図示した反射率モニター系（レンズ系20、光電検出器21）が省略され、そこに透過率計測用のビームB2を生成する投射系と、投影光学系PLの瞳面EPからの反射ビームB2'を光電検出する受光系とを設けるようにした。

具体的には、先の図10で示したビーム整形光学系によってコリメートされた

ビームB 2を図18中のビームスプリッタ140に入射させ、そのビームスプリッタ140で反射された一部のビーム強度を基準となる光電検出器86Aで光電検出して信号SS1を得る。一方、ビームスプリッタ140を透過したビームB 2はレンズ系142によって収斂光束に変換され、プリズムミラー144の一方の反射面で反射されて瞳面EP3の中央に達する。

瞳面EP3は、第2フライアイレンズ13Bの射出面側に形成される2次光源面に対応した位置であり、投影光学系PLの瞳面EPと共役な面である。従って、ビームB 2が瞳面EP3の中央を光軸AXに対して傾いて通り、且つ瞳面EP3の中央でちょうど収斂されるように設定すると、投影光学系PLの瞳面EPでは図2に示すようにビームB 2を反射部材Reに向かって収斂させることができる。

さて、瞳面EP3を通った計測用ビームB 2は、集光レンズ系22でほぼ平行光束に変換され、レチクルブラインド機構23の開口部を通して集光レンズ系24、ミラー25、コンデンサーレンズ系26を介して再び平行光束となって投影光学系PLに入射する。そして投影光学系PLの瞳面EP近傍に配置された反射部材Reからの反射ビームB 2'は、投影光学系PLと照明光学系との共通の光軸AXに関して計測用ビームB 2と対称的な光路に沿って、コンデンサーレンズ系26、集光レンズ系24、レチクルブラインド機構23、集光レンズ22の順に通り、瞳面EP3の中央部で収斂してから発散する。

そして集光レンズ系22からの反射ビームB 2'は、プリズムミラー144の他方の反射面で反射されて光電検出器86Cで受光される。この光電検出器86Cからの信号SS5のレベルは、照明光学系と投影光学系PLとの両方の透過率の影響を受けたものであり、その信号SS5のレベルと光電検出器86Aからの信号SS1との比( $SS5/SS1$ )の時間的な変化を計測すれば、照明光学系と投影光学系PLとの両方による透過率変動が求まる。

以上の実施例では、露光量制御に用いるインテグレートセンサー（光電検出器19）に照明光の一部を分岐するビームスプリッタ17以降の照明光学系と投影光学系PLの瞳面EPまでの投影光路とを合成した透過率値（ $I_r$ に相当）や透過率変動特性（補正係数 $V_e$ に相当）を正確に計測することができる。このため

、露光制御時の制御精度を照明光学系の透過率変化の影響を加味して正確に管理できると言った利点がある。また先の図 5、6 に示したように照明光学系中のミラー 25 に部分透過部を形成しておく必要もないので、それによる露光用照明光のロスが皆無になると言った利点もある。

- 5       ところで、先の図 17 で説明したように投影光学系 PL の瞳面 EP の全体をカバーするような面積を有する可動反射部材 R e (可動透明板 CP) が採用できるときは、コリメートされた計測用ビーム B 2 を図 18 のように格別に生成しなくても露光用照明光を利用して同様の透過率計測が可能である。具体的には、透過率計測プログラムが実行されるときに、レチクル R が無い状態で可動反射部材 R
- 10      e を投影光学系 PL の瞳面 EP の近傍に挿入し、その状態で図 1 に示した第 2 フライアイレンズ 13 B を介して露光用パルス照明光を投影光学系 PL に向けて照射する。

- そして図 1 に示したインテグレートセンサー用の光電検出器 19 で検出されるパルス光毎の照度値 (光量)  $i_{qa}$  と反射率モニター用の光電検出器 21 で検出
- 15      されるパルス光毎の照度値 (光量)  $i_{qb}$  との比 ( $i_{qb} / i_{qa}$ ) を求めれば、容易に照明光学系と投影光学系 PL との両方を加味した透過率値や透過率変動、或いは補正係数  $V_e$  を計測することが可能である。

- この構成によると、図 1 中のレーザ光源 1 から第 2 フライアイレンズ系 13 B までの系が透過率計測時の計測用ビームの投射系として兼用され、図 1 中のビー
- 20      ムスプリッタ 17 から光電検出器 21 までの反射率モニター系が透過率計測時の受光系として兼用されるから、先の図 5、6 や図 18 に示した透過率計測手段と図 10 に示したビーム整形光学系とが不要になり、装置構成がコンパクトになり、コストダウンも図れると言った顕著な効果が得られる。

- 尚、このように第 2 フライアイレンズ系 (オブチカルインテグレート) 13 B
- 25      からの露光用照明光を透過率計測時の計測用ビームとして兼用する場合、露光用照明光は、投影光学系 PL の瞳面 EP で面積を持った光源像となるように供給されるために投影光学系 PL の物体面 PF 1 ではある開口数 (NA) を伴った光束となる。従って第 2 フライアイレンズ系 13 B からの露光用照明光を計測用ビームとして利用する場合、計測用ビームは物体面 PF 1 においてコリメートされた

状態にはなっていない。

以上、本発明の各実施例を説明したが、本発明は石英や螢石を光学硝材とした屈折光学素子（レンズ等の透過性素子）のみで構成された投影光学系を備えた露光装置だけでなく、屈折光学素子と反射光学素子（特に凹面鏡）とを組み合わせ

5 たカタディオプトリックタイプの投影光学系を搭載した露光装置にも全く同様に適用可能であり、場合によっては複数枚の反射光学素子のみで構成される全反射投影系を搭載した露光装置にも適用可能である。

このようなカタディオプトリック系や全反射投影系の場合は、各反射光学素子の表面に付着、堆積する不純物の分子の多少によって各反射光学素子での反射率

10 が変化し、それによって投影光学系全体の減衰率（透過率又は反射率）が変動することになる。従って反射光学素子を含む投影光学系の場合であっても、全く同様にして減衰率（透過率又は反射率）に応じた値や減衰率変動（透過率変動又は反射率変動）を求めることができるのである。

そこで、カタディオプトリックな投影光学系の幾つかの例を、図19を参照して簡単に説明する。

15

図19（A）は、屈折光学素子（レンズ系）GS1～GS4、凹面鏡MRs、ビームスプリッタPBSを組み合わせた縮小投影光学系であり、この系の特徴は、レチクルRからの結像光束を大きなビームスプリッタPBSを介して凹面鏡MRsで反射させて再びビームスプリッタPBSに戻し、屈折レンズ系GS4で縮小

20 率を稼いで投影像面PF2（ウェハW）上に結像する点であり、詳しくは特開平3-282527号公報（米国特許第5,220,454号）に開示されている。

そして、透過率計測時に計測用ビーム（露光用照明光）を反射する反射部材Reが形成された透明板CPは、ビームスプリッタPBSと屈折レンズ系GS4との間の瞳面近傍に固定的または挿脱可能に配置される。この図19（A）のような投影光学系の場合、瞳面がビームスプリッタPBSの内部に生成されることが

25 あり、そのようなときは反射部材ReをビームスプリッタPBSのレンズ系GS4側の射出面に直接形成しておいてもよい。

図19（B）は、屈折光学素子（レンズ系）GS1～GS4、小ミラーMRa、凹面鏡MRsを組み合わせた縮小投影光学系であり、この系の特徴は、レチクル

Rからの結像光束を、レンズ系GS1、GS2、凹面鏡MRsからなるほぼ等倍の第1結像系PL1、偏心配置の小ミラーMRa、そしてレンズ系GS3、GS4で構成されてほぼ所望の縮小率を持った第2結像系PL2を通して投影像面PF2（ウェハW）上に結像させる点であり、詳しくは特開平8-304705号  
5 公報（米国特許第5,691,802号）に開示されている。

そして、透過率計測用のビーム（露光用照明光）を反射する反射部材Reが形成された透明板CPは、第2結像系PL2内に生成される瞳面近傍に固定的または挿脱可能に配置される。この図19（B）のような投影光学系の場合、第1結像系PL1と第2結像系PL2との間に中間結像面PF4が形成されるため、その  
10 中間結像面の位置からコリメートされた計測用ビームを透明板CP上の反射部材Reに向けて投射し、その反射部材からの反射ビームをレチクルRの方まで戻して光電検出するように構成してもよい。

図19（C）は、屈折光学素子（レンズ系）GS1と凹面鏡MRsを組み合わせた等倍投影光学系であり、この系の特徴は、レチクルRからの結像光束を、それぞれプリズム反射鏡MRe、レンズ系GS1、凹面鏡MRsとで構成される第1のダイソン結像系PL1と第2のダイソン結像系PL2とを通して投影像面PF2（ウェハW）上に等倍の正立像として結像させる点であり、詳しくは特開平  
15 7-57986号公報（米国特許第5,729,331号）に開示されている。

この図19（C）の投影光学系の場合、各ダイソン結像系PL1、PL2の間にレチクルR上の照明領域とほぼ等倍の中間結像面PF4が形成され、投影光学系としての瞳面は各ダイソン結像系の凹面鏡MRsの位置近傍に生成される。従って図19（C）の場合は、凹面鏡MRsを透過率計測時の計測用ビームに対する反射部材として兼用させることになる。  
20

そして図19（C）の投影光学系の場合は、透過率計測時に中間結像面PF4の位置に面PF4と平行に平面鏡（両面ミラーが望ましい）を挿入し、レチクルR側から入射する計測用ビーム（又は露光用照明光）を中間結像面PF4の平面鏡で全反射させてレチクル側に戻して光電検出すればよい。同様に像面PF2（ウェハ）側から入射する計測用ビーム（図8のようなステージ42から垂直に射出されるビームB1）についても、中間結像面PF4の平面鏡で全反射させて像  
25

面 P F 2 側に戻して光電検出すればよい。

以上のように構成すると、図 1 9 (A), (B), (C) の各々に示した投影光学系を搭載した露光装置においても、先に説明した較正プログラムや透過率計測プログラムが同様に実行可能である。

- 5       ところで、先の図 1 9 に示した投影光学系のうち、図 1 9 (A) に示した投影光学系は円形の投影視野を有し、図 1 9 (B), (C) に示した投影光学系はほぼ半円形の投影視野を有している。そして、いずれの投影光学系を使う場合も、投影視野内で矩形スリット状に制限した実効投影領域 E I A を走査露光に利用するものとしたが、場合によっては円弧上のスリット投影領域を設定してもよい。
- 10       その場合、レチクル R を照明する照明光の強度分布形状を円弧スリット状とするか、中間結像面 P F 4 に円弧状透過スリットを配置すればよいが、照明光がパルス光であることを考慮すると円弧スリット状の照明光や円弧状透過スリットの走査方向の幅は、従来技術としての文献 S P I E, V o l. 1 0 8 8 の p. 4 2 4 ~ 4 3 3 ( 1 9 8 9 年) に示されている程に細くするのは得策ではなく、ある
- 15       程度の幅が必要となる。

- 例えば、走査方向に関する円弧状スリットのウェハ上での幅  $D_{ap}$  を 1 mm、走査中にその幅分だけウェハが移動していく間に発振すべきパルス光の数  $N_m$  (整数) を 2 0 パルス、照明光のパルス発振の最大周波数  $f_p$  を 1 0 0 0 H z (レーザ光源の規格による) とすると、ウェハ上の 1 ショット領域を走査露光していく間のウェハの移動速度  $V_{ws}$  は、 $V_{ws} = D_{ap} / (N_m / f_p)$  の関係から 5 0 mm / Sec. となり、スリット幅  $D_{ap}$  を大きくすればそれだけスループット向上が図れることがわかる。
- 20       従って円弧スリット状の照明光や円弧状透過スリットを使う場合であっても、従来の方式よりも幅の広いもの、例えばウェハ上で 3 ~ 8 mm 程度を採用する必要がある。ただしそのときは、円弧状スリットの内側の円弧と外側の円弧とは同心にはせず、円弧状スリットの走査露光の幅が円弧スリットの非走査方向のどの位置においても同じになるような三日月状にするのが望ましい。

- 25       本発明の第 1 の態様によればによれば、照明系や投影光学系を構成する多数の屈折 (透過) 性光学素子の透過率や反射性光学素子の反射率が露光動作中に時間

とともに変動したとしても、その変動を加味して感応基板（レジスト層）上に常に適正露光量が与えられるように露光制御される。

しかも、マスクのパターンを感応基板上に投影するための投影光学系のフーリエ変換面（瞳面）で反射する露光用エネルギーを光電検出できるようにしたので、  
5 感応基板上の複数のショット領域を順次露光する際の各ショット露光の間に短時間のうちに透過率変動の影響を受けた露光用エネルギーの一部（計測用ビーム）を光電検出することが可能となる。

特に本発明は、波長200nm以下の紫外レーザ光源や他の短波長光源（SOR等からの波長50nm以下のエネルギー線）を用いた投影露光装置において、  
10 不純物分子の影響によって照明光学系や投影光学系に透過率変動が生じる場合に好適である。

また本発明では、投影光学系のフーリエ変換面の少なくとも一部に固定的または可動に反射部材を設けるため、投影光学系を通ってきた露光用エネルギーの一部（計測用ビーム）を、感応基板の露光処理中にほぼリアルタイムに光電検出する  
15 ことが可能となり、そのような透過率変動による露光量制御時の誤差が精度良く抑えられると言った効果がある。

さらに本発明によれば、照明光学系から投影光学系を通して投影光学系のフーリエ変換面に達する露光用エネルギーを検出可能なので、照明光学系と投影光学系の両方を含むほぼ全体の系の透過率変動を正確に検知可能となり、それによっ  
20 て正確な露光量制御を実施することができる。

次に、本発明の第2の態様の実施に好適な投影露光装置の構成を図20、図21を参照して説明する。図20は、図1と同様に、波長192～194nmの間で酸素の吸収帯を避けるように狭帯化されたArFエキシマレーザ光源401を用い、レチクルRの回路パターンを投影光学系PLを通して半導体ウェハW上に  
25 投影しつつ、レチクルRとウェハWとを相対走査するステップアンドスキャン方式の投影露光装置の全体構成を示すものである。

図20中、401はArFエキシマレーザ光源、403は可動ミラー等を含むビームマッチングユニット（BMU）、405は遮光性のパイプ5、406は光アッテネータとしての可変減光器である。この可変減光器406は駆動モータを

含み、露光制御ユニット430からの指令に応じて紫外パルス光の減光率を段階的または無段階に調整する。

可変減光器406を通った紫外パルス光は、所定の光軸AXに沿って配置されるビームスプリッタ408、第1のフライアイレンズ系410、或いはビーム整形光学系等を含む第1の照明光学系407に入射する。そのビームスプリッタ408は、そこを透過する紫外パルス光のうちの数%程度を光電検出器409の方に反射させるものであり、本実施例においては光電検出器409からの光電検出信号を露光制御ユニット430で処理することによって走査露光時の露光条件が決定されるものとする。

さて、第1の照明光学系7から射出した紫外パルス光は、第2のフライアイレンズ系411、変形照明用の空間フィルター412、反射ミラー413、及びコンデンサーレンズ系414を通して、一様に強度分布にされてレチクルブラインド機構416内の固定照明視野絞り（固定ブラインド）415に達する。

レチクルブラインド機構416の固定ブラインド415で一様な強度分布とされた紫外パルス照明光は、結像用レンズ系417と反射ミラー418を介して主コンデンサーレンズ系419に入射し、レチクルR上の回路パターン領域の一部を固定ブラインド415のスリット状または矩形状の開口部と相似な形状となつて一様に照射する。従って、レチクルブラインド機構416内の固定ブラインド415若しくは可動ブラインドの各開口面は、レンズ系417と主コンデンサーレンズ系418との合成系によってレチクルRのパターン面とほぼ共役になっている。

図20中、420はレチクルステージ、422はレーザ干渉計を含む駆動制御ユニットで、図1中のレチクルステージ、駆動制御ユニットと略同じ構成である。

また図20中、424はウェハステージ、425はレーザ干渉計を含む駆動制御ユニットで、図1中のウェハステージ、駆動制御ユニットと略同じ構成である。

駆動制御ユニット425のレーザ干渉計によって計測されたウェハステージ424の回転変位の情報は、主制御系427を介してレチクルステージ420の駆動制御ユニット422にリアルタイムに送信され、そのウェハ側の回転変位の誤差がレチクルR側の回転制御で補償されるように制御される。

主制御系 427 は、走査露光時に、レチクルステージ 420 の X 方向の移動速度  $V_r$  とウェハステージ 424 の X 方向の移動速度  $V_w$  とが投影光学系 PL の投影倍率 ( $1/5$  倍或いは  $1/4$  倍) に応じた速度比に維持されるように各駆動制御ユニット 422、425 を同期制御する。

- 5 主制御系 427 は、ウェハ W 上のショット領域を適正露光量で走査露光するための各種の露光条件を設定して、エキシマレーザ光源 401 や可変減光器 406 を制御する露光制御ユニット 430 とともに連携して最適な露光シーケンスを実行する。

- 10 以上の構成の他に本実施例では、投影光学系 PL の像面 (ウェハ W) に近い位置に光電的な検出器 432A、432B を設け、投影光学系 PL を通ってきた露光用の紫外パルス照明光の一部を受光し、その強度に応じた光電信号を切替回路 433 を介して選択的に露光制御ユニット 430 に送出することにより、照明光学系と投影光学系 PL の双方の透過率変動を加味した露光用エネルギーをほぼリアルタイムに計測するようにしてある。

- 15 そのために本実施例では、投影光学系 PL の先端側 (ウェハ W 側) の光学構成を特別なものに変更し、照明光学系と投影光学系 PL の双方で生じる減衰率変動 (透過率変動又は反射率変動) をモニターするための紫外パルス光によるモニター光をレチクルブラインド機構 416 内の固定ブラインド 415 に設けた小開口を通して投影光学系 PL に通すように工夫した。そのようなモニター光と検出器  
20 432A、432B による透過率変動の計測については後の図 21～図 25 を参照して詳細に説明する。

- さらに本実施例では、図 1 の装置と同様に ArF エキシマレーザ光源 401 を用いるため、パイプ 405 内から可変減光器 406、第 1 照明光学系 407、第 2 照明光学系光 (第 2 フライアイレンズ系 411～主コンデンサーレンズ系 41  
25 9) の各光路を外気から遮蔽するサブチャンバー 435 が設けられ、そのサブチャンバー 435 内の全体には配管 436 を通して酸素含有率を極めて小さく抑えた乾燥窒素 ( $N_2$ ) ガスが供給される。同様に、投影光学系 PL の鏡筒内部の空間 (複数のレンズ素子の間の間隔) の全体にも配管 437 を通して乾燥窒素ガスが供給される。

さて、以上の図20の全体構成において、投影光学系PLは屈折光学素子のみで構成されるディオプトリック系としたが、屈折光学素子と凹面鏡（或いは凸面鏡）とを組み合わせたカタディオプトリック系にすることも可能である。いずれの系であっても、投影光学系PLの物体面側と像面側はテレセントリックな系になっている。

次に、図20中のレチクルブラインド機構416からウェハWまでの光路を模式的に表した図21と、投影光学系PLの物体側の視野とレチクルRの位置関係を模式的に表した図22とを参照して、透過率変動を検知するための第1の実施例による詳細構成を説明する。まず図21において、図20中のコンデンサーレンズ系414によって一様な強度分布にされた紫外パルス照明光ILPは、レチクルブラインド機構416内の固定ブラインド415に照射される。

その固定ブラインド415には、走査露光時にレチクルR上の回路パターン領域を照明するスリット状または矩形状の開口部415Aが形成されるとともに、その開口部415Aの走査方向（X方向）の両側には透過率変動を検知するためのモニター光LBmを透過させる小開口部415B、415Cが形成されている。図21の状態では、両側の小開口部415B、415Cのうち一方の小開口部415Cのみを透過したモニター光LBmが可動ブラインドの可動ブレード416A、416Bによって遮られることなく結像用レンズ系417、主コンデンサーレンズ系419に入射し、レチクルRに達する。

ここで可動ブレード416A、416Bは、特開平4-196513号公報（米国特許第5,473,410号）に開示されているように、レチクルRの走査移動の開始時と終了時にレチクルステージ420のX方向の移動と同期した速度でX方向に運動するように、それぞれ駆動モータ416C、416Dによって制御される。

ところで図21において、可動ブレード416Aによる遮光が解除されると、固定ブラインド415の矩形状の開口部415Aを通った紫外パルス照明光ILPは、結像用レンズ系417と主コンデンサーレンズ系419とを通して走査方向（X方向）の幅がDaのスリット状または矩形状の照明光に制限されてレチクルRを照射する。その幅Daを規定する主光線（破線）LEa、LEbは固定ブ

ラインド 4 1 5、開口部 4 1 5 A の X 方向の幅を規定する両側のエッジ部からの光線である。

- その主光線 L E a、L E b は、結像用レンズ系 4 1 7 と主コンデンサーレンズ系 4 1 9 との間に形成される瞳面（フーリエ変換面）e p o で交差した後、主コン
- 5    デンサーレンズ系 4 1 9 から光軸 A X と平行となって射出し、投影光学系 P L の最も物体面側のレンズ素子（透過性素子）G L 1 に入射する。さらに主光線 L E a、L E b は投影光学系 P L の射出瞳面 E P 内の中心（光軸 A X が通る点）で交差し、投影光学系 P L の最も像面側に位置するレンズ素子 G L 2 と透過光学素子 G L 3 を透過して、再び光軸 A X と平行になってウェハ W に達する。
- 10    また図 2 1 では、レチクル R は走査露光時の助走開始位置にあり、幅 D a のスリット状または矩形状の露光用照明領域からはずれているものとし、従って固定ブラインド 4 1 5 の小開口部 4 1 5 C を透過したモニター光 L B m は、図 2 1 中のレチクル R 上の回路パターン領域を区画する右側の遮光帯 S B R よりも右側の透明部分を通して投影光学系 P L に入射するものとする。
- 15    そして投影光学系 P L の瞳面 E P の中心を通して最下部に配置された透過光学素子 G L 3 まで達したモニター光 L B m は、透過光学素子 G L 3 のうち主光線 L E a、L E b を持つ投影光路を遮らない部分（スリット状または矩形状の像投影領域の X 方向の外部領域）に設けられた全反射部 G M a で側方に反射され、透過光学素子 G L 3 の端部から光 L B m' となって射出する。そして光 L B m' は光
- 20    電検出器 4 3 2 A で受光され、その強度に応じた光電信号 S a が切替回路 4 3 3 に出力される。

- 同様に、レチクル R が図 2 1 中の右側の助走開始位置にある場合、可動ブレード 4 1 6 A、4 1 6 B は固定ブラインド 4 1 5 の小開口部 4 1 5 B からのモニター光 R B m のみを透過するように設定され、そのモニター光 R B m はレチクル R
- 25    上の回路パターン領域を区画する左側の遮光帯 S B L よりも左側の透明部分を通して投影光学系 P L に入射する。そして投影光学系 P L を通ったモニター光 R B m は、先端部の透過光学素子 G L 3 のうち主光線 L E a、L E b を持つ投影光路を遮らない部分（スリット状または矩形状の像投影領域の X 方向の外部領域）に設けられた全反射部 G M b で側方に反射され、光電検出器 4 3 2 B で受光される。

検出器 4 3 2 B は受光した光の強度に応じた光電信号 S b を切替回路 4 3 3 に出力する。

以上の図 2 1 の構成において、固定ブラインド 4 1 5 の小開口部 4 1 5 B, 4 1 5 C はレチクル R のパターン面とほぼ共役であり、小開口部 4 1 5 B, 4 1 5 C の各像はレチクル R の左右端の透明部内に結像される。また固定ブラインド 4 1 5 からレチクル R までの結像倍率は約 2 倍の拡大系になっている。尚、可動ブレード 4 1 6 A, 4 1 6 B の動作に関しては、特開平 4 - 1 9 6 5 1 3 号公報（米国特許第 5, 4 7 3, 4 1 0 号）に詳細に開示されているので、ここではその説明を省略する。

次に図 2 2 を参照して、固定ブラインド 4 1 5 の小開口部 4 1 5 B, 4 1 5 C によるモニター光 L B m, R B M のレチクル R 上での投射状態を説明する。図 2 2 (A) は図 2 1 の状態におけるレチクル R と投影光学系 P L の物体側の視野 I F o との位置関係を示す平面図であり、ここでは円形視野 I F o の中心点（光軸 A X）を原点として X Y 座標軸が設定されているものとする。

さて、円形視野 I F o 内で走査方向に幅 D a で照射されるスリット状または矩形状の照明領域 4 1 5 A' は、固定ブラインド 4 1 5 の開口部 4 1 5 A の像としてレチクル R 上に形成される。その照明領域 4 1 5 A' の Y 方向に伸びたエッジ E a, E b はそれぞれ図 2 1 中の主光線 L E a, L E b の位置に対応し、レチクル R の回路パターン領域 P A の左右に Y 方向に伸びた遮光帯 S B R, S B L とともに平行になっている。また照明領域 4 1 5 A' の Y 方向の長さを規定するエッジ E c, E d は、レチクル R の回路パターン領域 P A の上下を区画する遮光帯の位置に合致するように設定されている。

ただし、図 2 2 (A) の状態では可動ブレード 4 1 6 A, 4 1 6 B の作用によって固定ブラインド 4 1 5 の開口部 4 1 5 A が遮蔽されているため、エキシマレーザ光源 4 0 1 を発振させても照明領域 4 1 5 A' 内には紫外パルス照明光が照射されない。

さらに、レチクル R の回路パターン領域 P A の中心点 C r はここでは X 座標軸上にあるものとし、回路パターン領域 P A 内には中心点 C r を挟んで X 方向に同一のチップパターンが形成されているものとする。また図 2 2 の状態から明らか

なように、回路パターン領域PAの対角長は円形視野IFOの直径よりも大きくなっており、その回路パターン領域PAの全体像（ここでは2チップ分）がウェハW上の1ショット領域内に走査露光される。

さて、図22（A）のようにレチクルRが照明領域415A'に対して左側の  
5 助走開始位置にある場合、固定ブラインド415の小開口部415Cによる像はレチクルRの右側の遮光帯SBRの外側の透明部上の3ヶ所に、開口像415C1、415C2、415C3となって投射される。本実施例の場合、照明光学系  
10 や投影光学系PLの透過率変動だけを検知するであれば、1つの開口像、例えば開口像415C2があれば十分であるが、視野IFO内での透過率変動のむらがある程度定量的に検知するために照明領域415A'の左側にY方向に並んで3ヶ所に開口像を配置するようにした。

従って図20、図21に示した検出器432A内にも、各開口像415C1、  
415C2、415C3によるモニター光を個別に受光する光電素子が設けられ、  
各光電素子からの信号レベルを対比することによって、視野IFO内のY方向に  
15 おける透過率の相違を知ることができる。

こうしてレチクルRが左側の助走位置にある間、エキシマレーザ光源401を  
発振させることによって、光開口像415C1、415C2、415C3による  
モニター光LBmがレチクルRの透明部と投影光学系PLとを通して検出器43  
2Aで受光され、その検出信号Saを図1中に示した光電検出器409からの信  
20 号と比較することにより、図20中のビームスプリッタ408から主コンデンサ  
ーレンズ系419までの照明光学系と投影光学系PLとを含む全体の透過率変動  
が検知できる。

ところで、レチクルRが図22（A）の助走位置からX方向の右側に移動し始  
めると、図21中の可動ブレード416A、416Bもそれに同期してX方向に  
25 移動し、固定ブラインド415の小開口部415Cを遮蔽する。このため、レチ  
クルRが助走し始めて走査露光状態になると、図22（B）に示すように露光用  
の照明領域415A'内のみに紫外パルス照明光が照射される。図22（B）に  
おいて、レチクルRの回路パターン領域PAが照明領域415A'内のパルス照  
明光によって照射される際、照射領域415A'の上下のエッジEc、Edは、

こうして走査露光が行われて、図 2 2 (C) のようにレチクル R が照明領域 4 1 5 A' の右側に位置すると、可動ブレード 4 1 6 A、4 1 6 B の作用によって、照明領域 4 1 5 A' 内のパルス照明光が遮蔽され、固定ブラインド 4 1 5 の小開口部 4 1 5 B からのパルス照明光がモニター光 R B m となってレチクル R の左側の遮光帯 S B L の外側に投射される。これによってレチクル R の左側の透明部内には、固定ブラインド 4 1 5 の小開口部 4 1 5 B による 3 つの開口像 4 1 5 B 1、4 1 5 B 2、4 1 5 B 3 が投影される。

20 以上のように本実施例では、図22(A)、(C)のようにレチクルRが走査露光のための助走開始位置にある間に、照明光学系と投影光学系PLとの両方を加味した全体の透過率変動を検知することが可能となる。従って、ウェハW上の複数のショット領域をステップアンドスキャン方式で順次露光する際、各ショット領域の走査露光の開始直前に透過率の変動を逐次検知することができ、1枚のウェハWを露光処理していく間に変化し得る透過率をほぼリアルタイムに知ることができる。

58

パルス光のエネルギーとを同一の検出器で計測した実験結果から、それらのエネルギーの比を求めてプロットしたものである。

露光装置を稼動させて、時刻  $T_0$  から紫外パルス照明光の照射を一定の周波数で開始すると、その直後から時刻  $T_1$  までの極短時間の間は透過率が  $\varepsilon_0$  から  $\varepsilon_1$  に低下し、その後も照射を続けると透過率が  $\varepsilon_1$  から除々に上昇し、時刻  $T_2$  で照射を中止すると透過率は  $\varepsilon_2$  まで上がっている。そして時刻  $T_2$  以降、透過率はほぼ直線的にゆっくり低下し、時刻  $T_3$  (時刻  $T_2$  から 1~2 時間の後) の透過率は  $\varepsilon_3$  ( $< \varepsilon_2$ ) となる。

時刻  $T_3$  で再びパルス照明光の照射を開始すると、透過率は  $\varepsilon_3$  から上昇し、やがて飽和状態の透過率  $\varepsilon_4$  に達し、それ以上のパルス照明光照射を続けても透過率の変動はみられなかった。それで時刻  $T_4$  において照射を停止すると、透過率は直線的にゆっくりと低下していくことが判明した。

この図 23 のような特性において、時刻  $T_0 \sim T_1$  の間の初期変動の傾向は、パルス照明光の照射によるレンズ素子 (石英やホタル石) 自体の物性によって引き起こされ、時刻  $T_1 \sim T_2$ 、或いは時刻  $T_3 \sim T_4$  の変動傾向は、レンズ素子や反射ミラーの表面に付着した水分子やヒドロカーボンの分子等の不純物が紫外パルス照明光の照射を受けて洗浄されることによって引き起こされるものと考えられる。そして時刻  $T_2 \sim T_3$  の間と時刻  $T_4$  以降の透過率変動は、窒素ガスで置換されているとは言え、各種光学素子の周りの空間中に浮遊している不純物質の分子が光学素子の表面にゆっくり再付着していくことによって生じるものと考えられる。

従って、図 23 のような透過率変動をパルス照明光の照射履歴等に基づいて間接的に予測することは難しく、そのため本実施例では照明光路と投影光路の双方を実際に透過するパルス照明光の強度変化を直接検出する方式を採用した。尚、図 23 中の時刻  $T_3$  と  $T_4$  の間では透過率が  $\varepsilon_4$  でほぼ飽和状態に達しているが、これは照明光学系と投影光学系 PL を通るパルス照明光による UV 洗浄作用に起因した透過率の上昇度と、各種の光学素子の表面に不純物分子が再付着することによる透過率の低下度とが丁度バランスした状態と考えられる。

次に、図 24 を参照して図 21 に示した投影光学系 PL の下端部の構造の変形

例を説明する。図24は、図20や図21の投影光学系PLの鏡筒下部の断面を表し、その鏡筒内部にはレンズ素子GL2の他に、その直近に位置するレンズ素子GL4も示されている。そしてレンズ素子GL2の下面には、照明領域415A'の両端のエッジEa, Ebが投影される点Ea', Eb'に向かう主光線LEa, LEbを含む所定開口数の結像光束をカバーする大きさで、透過光学素子(石英による平行平板)GL3が密接して設けられている。

さて、モニター光LBmは、レンズ素子GL4, GL2を透過した後、レンズ素子GL2の下面の光学素子GL3の右側に取り付けられた板状の光学ブロックGL5aに入射し、その先端に形成された全反射部GMaで水平に反射されて検出器432Aに受光される。その光学ブロックGL5aの先端の全反射部GMaとブロックGL5aの下面部には、モニター光LBmがウェハWに達することを防止する遮光膜や遮光板が形成されている。

同様にモニター光RBmは、レンズ素子GL4, GL2を透過した後、レンズ素子GL2の下面の光学素子GL3の左側に取り付けられた板状の光学ブロックGL5bに入射し、その先端に形成された全反射部GMbで水平に反射されて検出器432Bに受光される。その光学ブロックGL5bの先端の全反射部GMbとブロックGL5bの下面部にも、モニター光RBmがウェハWに達することを防止する遮光膜や遮光板が形成されている。

この図24の変形例における光学ブロックGL5a, GL5bは、機能的には図21に示した透過光学素子GL3と全く同じであるが、図21のように反射部分GMa, GMbを光学素子GL3と一体化することが困難な場合に、光学素子GL3と分離して設けられるものである。このように分離する場合、図24における光学素子GL3は、ウェハW上に投影されるレチクルRの回路パターンの部分像に含まれる光学収差(コマ収差やアス、またはある種の歪曲収差等)を補正する補正板として単独に加工、調整することができる。

図25は先の図20中に示した露光制御ユニット430内の詳細な構成の一例を示す回路ブロック図であり、制御プロセッサ(演算処理回路)457を中心とした幾つかの周辺回路で構成される。図25において、図20中に示した光電検出器409からの光電信号はサンプル/ホールド(S/H)回路450に入力し、

1 パルス光毎のエネルギー量に応じたピーク値が保持される。そのエネルギー量に応じた信号は、アナログ・デジタル変換器（ADC）451によってデジタル値に変換され、メモリ回路452内に予め指定された複数個のパルス分が順次記憶される。

5 一方、検出器432A、432Bの各々から出力される光電信号 $S_a$ 、 $S_b$ は、切替回路433によっていずれか一方が選択され、その選択された方の信号がサンプル／ホールド（S/H）回路453に入力し、1パルス光毎のエネルギー量に応じたピーク値が保持される。そのエネルギー量に応じた信号は、アナログ・デジタル変換器（ADC）454によってデジタル値に変換され、メモリ回路45  
10 5内に予め指定された複数個のパルス分が順次記憶される。尚、切替回路433の切替動作は制御プロセッサ457から指示され、レチクルRが図21或いは図22（A）の位置にあるときは検出器432Aからの信号を選択し、レチクルRが図22（C）の位置にあるときは検出器432Bからの信号を選択するように制御される。

15 制御プロセッサ457は、メモリ回路452内に記憶された複数のデジタルデータを読み込み、それらのデータを平均した値をエキシマレーザ光源401から露光装置の照明光学系に入射する元のレーザ強度値 $I_s$ として算出するとともに、メモリ回路455内に記憶された複数のデジタルデータを読み込み、それらのデータを平均した値を投影光学系PLを透過した位置における露光用照明光の  
20 強度値 $I_w$ として算出する。

そして制御プロセッサ457は、算出した強度値 $I_s$ 、 $I_w$ の比の値（ $I_w/I_s$ ）を求め、その比のデータ値を内部に設けられた透過率変動の履歴メモリ内に透過率データとして記憶する。さらに制御プロセッサ457は、履歴メモリ内にそれまでに記憶されてきた過去の透過率データ群と今回記憶したデータとの差分を計算し、その差分が露光量制御上で補正が必要なほど大きなものか否か（例  
25 えば制御精度として1%以上狂うか否か）を判定する。

その判定の結果、メモリ回路459内に記憶された目標露光量が得られるように設定された露光条件を変更または修正する必要がある場合、制御プロセッサ457は図20中に示した可変減光器406に対してパルス光の強度（エネルギー）

を補正するための指令を出力する。また微小な調整範囲であれば図20中のエキシマレーザ光源401に対してパルス光の発振強度自体を補正（放電電極間の高電圧を調整）するための指令を送信する。

また制御プロセッサ457は、インターフェイスバスIBを介して主制御系427と相互に連携しており、例えばレチクルRの走査露光時の移動が完了して助走開始位置にきたことを表す情報は主制御系427から制御ユニット457に送信され、その情報に応答して制御プロセッサ457は検出器432A、432Bの選択、選択された検出器からの信号の取り込み、露光条件の補正等の各動作を、ウェハW上の複数のショット領域の各々に対する一連の走査露光動作の間に逐次リアルタイムに実行していく。

ところで以上で説明した露光量制御の方式では、制御プロセッサ457内の履歴メモリに逐次記憶されていく透過率データに基づいて、露光条件のうちエキシマレーザ光源401からレチクルRに達する紫外パルス照明光の強度を補正するようにしたが、露光条件の補正としては走査露光時のレチクルRの移動速度 $V_r$ とウェハWの移動速度 $V_w$ との比を一定値に維持しつつ、各速度 $V_r$ 、 $V_w$ の絶対値を微調整することも可能である。ただしこの場合は、エキシマレーザ光源401がパルス光源であることに起因して、固定ブラインド415のスリット状または矩形状の開孔部415Aによる照明領域415A'の走査方向の幅Daを微調整することも必要となろう。

また逆に、走査速度 $V_r$ 、 $V_w$ の比とそれらの絶対値とは変更せずに、照明領域415A'の走査方向の幅Daを微調整することでも露光量制御が可能である。ただしこの場合、照明領域415A'の幅Da、走査速度 $V_r$ 、 $V_w$ 、エキシマレーザ光源401の発振周波数 $f$ の3者間には密接な関係があり、例えばレチクルR側の走査速度 $V_r$ で規定すると、 $n$ を適当なパルス光の数（例えば30～500の間の整数）として、 $f \cdot Da = n \cdot V_r$ の関係（幅Da分を速度 $V_r$ で移動している間に発振されるパルス数を常に整数 $n$ とする条件）が成り立っていることが必要となる。そのためレチクルRの走査速度 $V_r$ を変えずに幅Daを微調整する場合は、整数 $n$ 、発振周波数 $f$ の少なくとも一方を変更することになる。

さらに、先の図22(A)～(C)で示したように照明領域415A'の長手

- 方向（Y方向）に沿って複数の小開口像415B1～415B3、415C1～415C3を投射するようにし、各小開口像毎の透過エネルギーを検出器432A、432B内の個別の光電素子によって検知した場合は、Y方向に関する透過率のむら（照度むら）も推定できる。そのため、求められた透過率むらに応じて
- 5 照明光学系内のレチクルRとほぼ共役な位置近傍、或いは瞳epoの位置近傍に透過率分布可変素子を設けて、特にY方向の照度むらを補償することも可能である。

- ところで図25に示した実施例では、検出器432A、432Bの各々で検知された照明光の強度値と元のレーザ光エネルギーの強度値との比率に基づいて、照明光学系と投影光学系PLの双方を含む透過率データを算出し、その透過率データの変動に応じて露光量制御時の露光条件を補正していたが、光電検出器409は利用せずに検出器432A、432Bの各出力信号を利用するだけでも、必要な精度で露光量制御することが可能である。そこで、そのために必要な装置構成とその動作を第2の実施例として図26により説明する。
- 10

- 図26は、投影光学系PLの先端部とウェハステージ424との位置関係を示したもので、本実施例では第3の光電検出器としてウェハステージ424上に照度検出器470を設け、投影光学系PLから射出される露光用エネルギーの強度や照度をステージ424上の照度検出器470で時々測定し、その測定値に基づいて検出器432A、432Bによる検出結果を校正して露光量制御するようにした。
- 15

- 20 図26において、ウェハWはステージ424上にホルダーWHを介して載置され、照度検出器470は、その表面がウェハWの表面とほぼ同じ高さ（±0.6mm程度の範囲内）になるようにステージ424上に取り付けられている。そして、照度検出器470の表面には、直径1mm程度のピンホールの複数個を走査露光の方向と直交したY方向（図26の紙面と垂直な方向）に一定間隔で配列した第1のピンホール群470aと、固定ブラインド415による照明領域415A'の走査露光方向の幅Daに対応した距離だけ像面側で離れた第2のピンホール群470bとが形成されている。この第2のピンホール群470bも、走査露光の方向と直交したY方向に一定間隔で複数個のピンホールを有する。
- 25

これらのピンホール群470a、470bは、ステージ駆動制御ユニット42

5 (図20参照)に設けられたレーザ干渉計からステージ424上の反射ミラー424Xに投射される測長ビームBMxに基づいてステージ424を図26のように精密に位置決めすると、それぞれ固定ブラインド415による照明領域415A'の走査方向(X方向)のエッジEa'、Eb'を通る主光線LEa、LEbの像面内での位置に対応するように配置されている。

さて、照度検出器470の各ピンホール群470a、470bの裏側には、各ピンホールを透過した投影光学系PLからの露光用エネルギーを個別に光電検出する複数の光電素子472が配置され、それらの光電素子群からの各光電信号Scは図20または図25に示した露光制御ユニット430に出力される。

10 以上の図26の構成により、照度検出器470が図7のように位置付けられた状態で、図21中に示した可動ブレード416A、416Bの両方を全開にすると、照明光路中にレチクルRが無ければ、一様な照度分布の照明領域415A'が照度検出器470上に投射され、第1ピンホール群470aと第2ピンホール群470bの各々に含まれる複数のピンホールの各位置における照度値が個別に  
15 検出される。

このような照度検出器470を用いた検出器432A、432Bの較正は、例えば図27のように実施される。図27(A)は、先の図22(A)と同様にレチクルRを左側の助走開始位置に配置した状態を示し、まずこの状態でウエハステージ424を図26のように位置付ける。そして可動ブレード416A、416Bを図2のような状態に設定して、固定ブラインド415の小開口部415Cの像415C1~415C3を図27(A)のようにレチクルRの右側遮光帯SBRの外側の透明部上に投射し、その透過光(モニター光LBm)を図26中の  
20 検出器432Aで光電検出してその信号Saのレベルを記憶しておく。

次に、レチクルRを図27(A)の状態から図27(B)のように右方向にΔHxだけ移動させて、可動ブレード416A、416Bを少しだけ開いて、幅Daの照明領域415A'のうちエッジEa側の僅かな幅の部分の細いスリット状の照明領域415ALに制限してレチクルR上に投射する。このとき照明領域415ALは、レチクルRの右側遮光帯SBRの外側の透明部を透過して投影光学系PLに入射し、その透過光はステージ424上の第1ピンホール群470a上  
25

に照射される。従って第1ピンホール群470aの各ピンホールを透過して光電素子472で個別に受光される各照度値は、スリット状の照明領域415ALのY方向の照度むらを表すことになる。

- ここでは検出された信号Scに基づいて、露光制御ユニット430がスリット状照明領域415AL内の各照度値を平均演算し、平均照度値として記憶する。
- 5      その平均照度値は、ウェハW上に実際に与えられる露光量を忠実に反映したものとなるので、その平均照度値が目標露光量を得るのに必要な設定値に対してk%の誤差を持っていた場合は、先に図27(A)のときに記憶した検出器432Aからの信号Saのレベルも約k%の誤差を含んでいることになる。
- 10      そこで露光制御ユニット430は、これ以降に出力される検出器432Aからの信号Saに対してk%の補正を加え、その補正された信号Sa'に基づいて適正露光量を得るための露光条件を決定する。通常この種の露光装置は、ロット単位で複数枚のウェハを露光処理していくので、ロット先頭のウェハ処理の際には透過率変動が大きくなることもあるが、それ以降は大きな透過率変動が起こらず、
- 15      先の図23の特性(時刻T2以降)のように比較的小さな範囲で変動しているものと考えられる。

- 従って1枚のウェハの露光処理が終了するたびに、図26のようにウェハステージ424を位置付けて、投影光学系PLの視野IFo内の像投影領域内、即ち照明領域415A'内の像面側での照度値をステージ上の照度検出器470によって検知し、その検知結果に基づいて投影光学系PLの下端部に設けられた検出器432A、432Bからの検出信号Sa、Sbを較正して利用するようにすれば、図20中に示した光電検出器409を利用しなくても、ほぼ正確な露光量制御が可能となる。
- 20

- 以上、図26と図28による第2の実施例によれば、走査露光時にウェハを露光する実際の像投影領域(照明領域415A')内の照度を検知して検出器432A、432Bからの信号を較正しているので、実際の像投影領域内での透過率変動が正確に反映されるので露光量制御が高精度になるといった利点がある。また本実施例では、ステージ上の照度検出器470によって像投影領域内の照度むらも計測可能となり、必要に応じて照度むらを正確に補正することが可能となる。
- 25

- 以上、本発明の第2の態様の各実施例を説明したが、照明光学系と投影光学系の双方の透過率の計測方法は上記の各実施例に限られるものではない。例えば先の図26、27の実施例において、1枚のウェハ露光処理が開始される直前に、照度検出器470で検知される平均照度値（または各ピンホール毎の個別の照度値）を図1中の光電検出器409からの信号強度と比較演算し、その時点における像投影領域（固定ブラインド415の開口部415A内の領域）についての透過率を求め、その透過率を基準にして投影光学系PLの下端部に設けられた検出器432A、432Bの各検出信号の値を評価して露光量制御に利用するようにしてもよい。
- 5      また一般に、この種の投影露光装置では、照明光学系内に設けられるフライアイレンズ系から射出するパルス照明光の数%をビームスプリッタで反射（又は透過）させ、その反射光の強度を光電素子（インテグレータセンサー）で検出し、その光電信号を各パルス照明光毎に積分することでウェハ上に与えられる露光量を検知するような構成を採用していることが多い。その場合、インテグレータセンサーは図1中の光電検出器409の代りに利用することができる。
- 10      さらに、透過率測定用の光電検出器432A、432Bは、図20、図21、図24のように投影光学系PLの下端部に固定的に設けておく必要はなく、可動式にしてもよい。この場合は例えば図28に示すように、投影光学系PLの鏡筒外壁に設けられた駆動機構480A、480Bによって投影光学系PLの像面側の視野内（レンズ素子GL3の下面とウェハWとの間の空間）に挿脱可能な可動アーム482A、482Bを設け、その各先端部に走査方向（X方向）と直交したY方向に伸びた受光面を有する光電検出器484A、484Bを取り付けて、投影光学系PLの視野内の任意の位置でパルス照明光の照度を計測するようにしてもよい。
- 15      この図28のように投影光学系PLの像面側の投影光路内に光電検出器484A（又は484B）を出し入れ可能にした場合、照明光学系と投影光学系PLの双方によって決まる透過率の測定は、先の図27（B）のようにレチクルRの遮光帯の外側に存在する透明部を介して照明領域415A'内の一部（或いは全体）に露光用のパルス照明光を照射し、投影光学系PLを透過してきたパルス照明光
- 20      この図28のように投影光学系PLの像面側の投影光路内に光電検出器484A（又は484B）を出し入れ可能にした場合、照明光学系と投影光学系PLの双方によって決まる透過率の測定は、先の図27（B）のようにレチクルRの遮光帯の外側に存在する透明部を介して照明領域415A'内の一部（或いは全体）に露光用のパルス照明光を照射し、投影光学系PLを透過してきたパルス照明光
- 25      この図28のように投影光学系PLの像面側の投影光路内に光電検出器484A（又は484B）を出し入れ可能にした場合、照明光学系と投影光学系PLの双方によって決まる透過率の測定は、先の図27（B）のようにレチクルRの遮光帯の外側に存在する透明部を介して照明領域415A'内の一部（或いは全体）に露光用のパルス照明光を照射し、投影光学系PLを透過してきたパルス照明光

の強度を光電検出器 4 8 4 A（又は 4 8 4 B）によって受光するのがよい。このようにすると、実際の投影露光に使われる投影視野内の照明領域 4 1 5 A' 内に対応した光路で生じる透過率が直接的に計測可能となるので、より高精度な計測結果が期待できる。

- 5      また図 2 8 の実施例の場合であっても、先の図 2 6 の実施例と同様にして検出器 4 3 2 A、4 3 2 B からの各光電信号 S a、S b を光電検出器 4 8 4 A（又は 4 8 4 B）からの光電信号のレベルに基づいて較正（キャリブレーション）することができる。ただし図 2 8 の実施例の場合は図 2 6 の構成の場合と異なり、ウェハ W が投影光学系 P L の直下に存在した状態であっても光電検出器 4 8 4 A
- 10    （又は 4 8 4 B）を投影視野内に挿入可能なので、ウェハ露光動作中の適当な時点でレチクル R を図 2 7（A）のように配置し、可動ブレード 4 1 6 A、4 1 6 B によって図 2 7（A）のようなスリット状の照明領域 4 1 5 A L を投射し、その透過光量を光電検出器 4 8 4 A（又は 4 8 4 B）で受光することができる。

- このとき、レチクル R 上に投射される照明領域 4 1 5 A L 内のパルス照明光は、
- 15    投影光学系 P L を透過した後にウェハ W に到達しないように光電検出器 4 8 4 A（或いは可動アーム 4 8 2 A）によって完全に遮光されるように構成する。

- また以上の各実施例では、投影光学系 P L の最も像面側に射出してくる露光用のエネルギーの一部を光電検出することによって、照明光学系と投影光学系 P L とを含む全体系の透過率変化を検知するようにしたが、投影光学系 P L の瞳面 E
- 20    P に所定の空間が形成されるような光学構成の場合は、その瞳 E P の空間に光電検出器を挿脱可能に配置し、レチクル R を図 2 7（B）のように配置した状態で照明領域 4 1 5 A L をレチクル R の透明部に投射することによって透過率変動のモニターや露光量制御時の較正用の光量計測を行ってもよい。

- 次に、本発明の第 3 の態様の実施に好適な投影露光装置につき図面を参照して
- 25    説明する。本例は、投影光学系として反射屈折型の投影光学系を使用するステップ・アンド・スキャン方式の走査型投影露光装置に本発明を適用したものである。

図 2 9 は本例の投影露光装置の概略構成を示し、この図 2 9 において、露光制御装置 5 0 1 により発光状態が制御されたエキシマレーザ光源 5 0 2 から射出さ

れたパルスレーザ光よりなる照明光 I L は、偏向ミラー 5 0 3 で偏向されて第 1 照明系 5 0 4 に達する。エキシマレーザ光源 5 0 2 として本例では、発振スペクトルの半値幅が 1 0 0 p m 以上にされた K r F エキシマレーザ(波長 2 4 8 n m) の広帯化レーザ光源が使用される。但し、露光用の光源としては、A r F エキシマレーザ(波長 1 9 3 n m) の広帯化レーザ光源を使用してもよく、金属蒸気レーザ光源、Y A G レーザの高調波発生装置、又は水銀ランプ等の輝線ランプ等を使用してもよい。

第 1 照明系 5 0 4 には、ビームエキスパンダ、光量可変機構、照明光学系のコヒーレンスファクタ(所謂  $\sigma$  値)を変更した場合に照明光の光量を切り換えるための照明切り換え機構、及びフライアイレンズ等が含まれている。そして、第 1 照明系 5 0 4 の射出面に照明光 I L の面状に分布する 2 次光源が形成され、この 2 次光源の形成面に照明条件を種々に切り換えるための照明系開口絞り用の切り換えレボルバ 5 0 5 が配置されている。切り換えレボルバ 5 0 5 の側面には、通常の円形の開口絞り、光軸から偏心した複数の開口よりなる所謂変形照明用の開口絞り、輪帯状の開口絞り、及び小さい円形開口よりなる小さい  $\sigma$  値用の開口絞り等が形成され、切り換え装置 5 0 6 を介して切り換え用レボルバ 5 0 5 を回転することによって、所望の照明系開口絞り( $\sigma$ 絞り)をその第 1 照明系 5 0 4 の射出面に配置できるようになっている。また、そのように照明系開口絞りを切り換えた場合には、切り換え装置によって同期して、最も光量が大きくなるように第 1 照明系 5 0 4 内の照明切り換え機構が切り換えられる。

切り換え装置 5 0 6 の動作は、露光制御装置 5 0 1 によって制御され、露光制御装置 5 0 1 の動作は、装置全体の動作を統轄制御する主制御装置 5 0 7 によって制御されている。

切り換え用レボルバ 5 0 5 で設定された照明系開口絞りを透過した照明光 I L は、透過率が大きく反射率の小さいビームスプリッタ 5 0 8 に入射し、ビームスプリッタ 5 0 8 で反射された照明光は、フォトダイオード等の光電検出器よりなるインテグレータセンサ 5 0 9 で受光される。このインテグレータセンサ 5 0 9 で照明光を光電変換して得られる検出信号が露光制御装置 5 0 1 に供給される。その検出信号とウエハ上での露光量との関係は予め計測して記憶されており、露

光制御装置 501 では、その検出信号よりウエハ上での積算露光量をモニタする。また、その検出信号は、露光用の照明光 IL を使用する各種センサ系の出力信号を規格化するのにも利用される。

5      ビームスプリッタ 508 を透過した照明光 IL は、第 2 照明系 510 を介して照明視野絞り系（レチクルブラインド系）511 を照明する。この照明視野絞り系 511 は図 1 のレチクルブラインド機構 23 と略同じ構成である。

10      この照明視野絞り系 511 中の可動ブラインドの動作は、駆動装置 512 によって制御されており、ステージ制御装置 513 によって後述のようにレチクルとウエハとの同期走査を行う際に、ステージ制御装置 513 は、駆動装置 512 を介してその走査方向の可動ブラインドを同期して駆動する。照明視野絞り系 511 を通過した照明光 IL は、第 3 照明系 514 を経てレチクル R のパターン面（下面）の矩形の照明領域 515 を均一な照度分布で照明する。照明視野絞り系 511 の固定ブラインドの配置面は、レチクル R のパターン面と共役であり、照明領域 515 の形状はその固定ブラインドの開口によって規定されている。

15      以下では、レチクル R のパターン面に平行な面内で図 29 の紙面に垂直に X 軸を、図 29 の紙面に平行に Y 軸を取り、レチクル R のパターン面に垂直に Z 軸を取って説明する。このとき、レチクル R 上の照明領域 515 は、X 方向に長い矩形領域であり、走査露光時には、照明領域 515 に対してレチクル R が +Y 方向、又は -Y 方向に走査される。即ち、走査方向は Y 方向に設定されている。

20      レチクル R 上の照明領域 515 内のパターンは、両側（又はウエハ側に片側）テレセントリックな投影光学系 PL を介して投影倍率  $\beta$ （ $\beta$  は例えば  $1/4$ 、 $1/5$  等）で縮小されて、フォトリソが塗布されたウエハ W 表面の露光領域 516 に結像投影される。

25      レチクル R は、レチクルステージ 517 上に保持され、レチクルステージ 517 はレチクル支持台 518 上の Y 方向に伸びたガイド上にエアベアリングを介して載置されている。レチクルステージ 517 は図 1、図 20 のレチクルステージと同じ構成である。図中 519 はレーザ干渉計、519m は移動鏡である。

一方、ウエハ W はウエハホルダ 520 を介して試料台 521 上に保持され、試料台 521 はウエハステージ 522 上に載置される。ウエハステージ 522 は、

定盤 5 2 3 上のガイド上にエアベアリングを介して載置されており、図 1、図 2  
0 のウエハステージと同じ構成である。図中 5 2 4 m は移動鏡、5 2 9 はレーザ  
干渉計である。ステージ制御装置 5 1 3 はレーザ干渉計 5 2 9 により供給された  
計測値に応じてウエハステージ 5 2 2 の駆動用のリニアモータ等の動作を制御す  
5 る。

走査露光時には、主制御装置 5 0 7 からステージ制御装置 5 1 3 に露光開始の  
コマンドが送出され、これに応じてステージ制御装置 5 1 3 では、レチクルステ  
ージ 5 1 7 を介してレチクル R を Y 方向に速度  $V_R$  で走査するのと同期して、ウ  
エハステージ 5 2 2 を介してウエハ W を Y 方向に速度  $V_W$  で走査する。レチク  
10 ル R からウエハ W への投影倍率  $\beta$  を用いて、ウエハ W の走査速度  $V_W$  は  $\beta \cdot V_R$   
に設定される。

また、投影光学系 P L は定盤 5 2 3 上に植設されたコの字型のコラム 5 2 5 の  
上板中に保持されている。そして、投影光学系 P L の X 方向の側面部に、ウエハ  
W の表面の複数の計測点に斜めにスリット像等を投影して、それら複数の計測点  
15 での Z 方向の位置（フォーカス位置）に対応する複数のフォーカス信号を出力す  
る、斜入射方式の多点のオートフォーカスセンサ（以下、「AF センサ」という）  
5 2 6 が配置されている。多点の AF センサ 5 2 6 からの複数のフォーカス信号  
は、フォーカス・チルト制御装置 5 2 7 に供給され、フォーカス・チルト制御装  
置 5 2 7 で、それら複数のフォーカス信号よりウエハ W の表面のフォーカス位置  
20 及び傾斜角を求め、求めた結果をステージ制御装置 5 1 3 に供給する。

ステージ制御装置 5 1 3 では、供給されたフォーカス位置及び傾斜角が、それ  
ぞれ予め求められている投影光学系 P L の結像面のフォーカス位置及び傾斜角に  
合致するように、ウエハステージ 5 2 2 内の Z ステージ機構、及びチルト機構を  
サーボ方式で駆動する。これによって、走査露光中においても、ウエハ W の露光  
25 領域 5 1 6 内の表面はオートフォーカス方式、及びオートレベリング方式で投影  
光学系 P L の結像面に合致するように制御される。

更に、投影光学系 P L の + Y 方向の側面にオフ・アクシス方式のアライメント  
センサ 5 2 8 が固定されており、アライメント時にはアライメントセンサ 5 2 8  
によってウエハ W の各ショット領域に付設されたアライメント用のウエハマーク

の位置検出が行われ、検出信号がアライメント信号処理装置 5 2 9 に供給されている。アライメント信号処理装置 5 2 9 にはレーザ干渉計 5 2 4 の計測値も供給され、アライメント信号処理装置 5 2 9 では、その検出信号及びレーザ干渉計 5 2 4 の計測値より検出対象のウエハマークのステージ座標系 (X, Y) での座標を算出して、主制御装置 5 0 7 に供給する。ステージ座標系 (X, Y) とは、レーザ干渉計 5 2 4 によって計測される試料台 5 2 1 の X 座標及び Y 座標に基づいて定められる座標系を言う。主制御装置 5 0 7 では、供給されたウエハマークの座標より、ウエハ W 上の各ショット領域のステージ座標系 (X, Y) での配列座標を求めてステージ制御装置 5 1 3 に供給し、ステージ制御装置 5 1 3 では供給された配列座標に基づいて各ショット領域に走査露光を行う際のウエハステージ 5 2 2 の位置を制御する。

また、試料台 5 2 1 上には基準マーク部材 F M が固定され、基準マーク部材 F M の表面にはアライメントセンサの位置基準となる種々の基準マーク、及びウエハ W の反射率の基準となる基準反射面等が形成されている。そして、投影光学系 P L の上端部に、ウエハ W 側から投影光学系 P L を介して反射される光束等を検出する反射光検出系 5 3 0 が取り付けられ、反射光検出系 5 3 0 の検出信号が自己計測装置 5 3 1 に供給されている。主制御装置 5 0 7 の管理のもとで後述のように、自己計測装置 5 3 1 ではウエハ W の反射量 (反射率)、投影光学系 P L の透過率変化のモニタ、照度むらの計測、及び空間像の計測等を行う。

次に、図 3 0 を参照して図 2 9 内の本例の投影光学系 P L の構成について詳細に説明する。

図 3 0 は、投影光学系 P L を示す断面図であり、この図 3 0 において、投影光学系 P L は機構的には、第 1 対物部 5 4 1、光軸折り返し部 5 4 3、光軸偏向部 5 4 6、及び第 2 対物部 5 5 2 の 4 つの部分より構成されている。そして、光軸折り返し部 5 4 3 内に凹面鏡 5 4 5 が配置されている。

本例のように照明光 I L として広帯化されたレーザ光を用いた場合、同じ電源電力でも光量を増やすことができスループットを高められると共に、コヒーレンシが低下して干渉による悪影響が軽減されるという利点がある。但し、本例のように K r F エキシマレーザ光又は A r F エキシマレーザ光のような紫外域の照

明光を使用する場合、投影光学系P L内の屈折レンズとして使用できる硝材が石英や蛍石等に限られてしまい、屈折光学系のみではその設計が困難である。そのため本例では、凹面鏡のような色収差が発生しない反射光学系と屈折光学系とを併用することで広帯色消しを行うこととしている。但し、反射光学系は一般には

5 1対1（等倍）の光学系であり、本例のように1／4倍、又は1／5倍のような縮小投影を行う場合には、以下のようにその構成には特殊な工夫が必要である。

即ち、先ず、レチクルRの直下に第1対物部5 4 1が配置され、第1対物部5 4 1は鏡筒5 4 2内にレチクルR側から順にレンズ枠を介してレンズL 1、L 2、L 3、L 4を固定して構成されている。そして、鏡筒5 4 2の下に、光軸偏向部

10 5 4 6の鏡筒5 4 7を介して、光軸折り返し部5 4 3の鏡筒5 4 4が配置され、鏡筒5 4 4内にレチクルR側から順にレンズ枠を介して、レンズL 1 1、L 1 2、…、L 2 0、L 2 1、及び凹面鏡5 4 5が固定されている。第1対物部5 4 1と光軸折り返し部5 4 3とは同軸であり、その光軸を光軸A X 1とする。光軸A X 1はレチクルRのパターン面に垂直である。

15 このとき、鏡筒5 4 2と鏡筒5 4 4との間の光軸偏向部5 4 6の鏡筒5 4 7内で、光軸A X 1から+Y方向に偏心した位置には、光軸A X 1に対して+Y方向にほぼ45°で傾斜した反射面を有する小型ミラー5 4 8が配置されている。また、鏡筒5 4 7内に小型ミラー5 4 8から+Y方向に順に、レンズL 3 1、L 3 2、補正光学系5 4 9、及びビームスプリッタ5 5 0が配置されている。光軸偏向部5 4 6の光軸A X 2は光軸A X 1に直交しており、ビームスプリッタ5 5 0の反射面は小型ミラー5 4 8の反射面に直交するように光軸A X 2にほぼ45°

20 で傾斜している。ビームスプリッタ5 5 0は、透過率が5％で反射率が95％程度の高反射率のビームスプリッタであり、ビームスプリッタ5 5 0を透過した光束の利用方法については後述する。そして、補正光学系5 4 9は、光軸A X 2に沿った方向に微動できると共に、光軸A X 2に垂直な平面に対する傾斜角が微調整

25 できるレンズ群等より構成され、補正光学系5 4 9の位置及び傾斜角は結像特性補正装置5 5 1によって制御されている。結像特性補正装置5 5 1の動作は図2 9の主制御装置5 0 7によって制御されている。この補正光学系5 4 9の配置されている位置はレチクルRのパターン面とほぼ共役な位置であり、主に倍率誤

差、ディストーション、焦点位置、非点収差、コマ収差、像面湾曲、球面収差を補正することができる。また、光軸AX2をビームスプリッタ550で折り曲げた方向に、鏡筒47に接触するように第2対物部552の鏡筒553が配置され、ビームスプリッタ550側から順に鏡筒553内にレンズ枠を介して、レンズL41, L42, L43, ..., L52が配置され、レンズ552の底面はウエハWの表面に対向している。第2対物部552の光軸AX3は、第1対物部541及び光軸折り返し部543の光軸AX1に平行であり、且つ光軸偏向部546の光軸AX2に直交している。

この場合、照明光ILによるレチクルR上の矩形の照明領域515は光軸AX1から-Y方向に偏心した位置に設定され、照明領域515を通過した照明光(以下、「結像光束」と呼ぶ)は、第1対物部541内のレンズL1, L2, ..., L4を経て、光軸偏向部546の鏡筒547の内部を通過して光軸折り返し部543に入射する。光軸折り返し部543に入射した結像光束は、レンズL11, L12, ..., L20, L21を経て凹面鏡545に入射し、凹面鏡545で反射集光された結像光束は、再びレンズL21, L20, ..., L12, L11を経て光軸偏向部546の鏡筒547内の小型ミラー548で+Y方向に偏向される。

その光軸偏向部546において、小型ミラー548で反射された結像光束は、レンズL31, L32及び補正光学系549を介してビームスプリッタ550に入射する。この際に、鏡筒547の内部でビームスプリッタ550の近傍に、レチクルR上の照明領域515内のパターンのほぼ等倍の像(中間像)が形成される。そこで、第1対物部541及び光軸折り返し部543よりなる合成系を「等倍光学系」と呼ぶ。ビームスプリッタ550で-Z方向に偏向された結像光束は、第2対物部552に向かい、第2対物部552において、その結像光束は、レンズL41, L42, ..., L51, L50を介してウエハW上の露光領域516に、レチクルR上の照明領域515内のパターンの縮小像を形成する。そこで、第2対物部552を「縮小投影系」とも呼ぶ。

以上のように、レチクルR上の照明領域515をほぼ-Z方向に透過した結像光束は、本例の投影光学系PL内で第1対物部541、及び光軸折り返し部543によってほぼ+Z方向に折り返される。その結像光束は、更に光軸偏向部54

6によって順次ほぼ+Y方向、及び-Z方向に折り返される過程でその照明領域515内のパターンのほぼ等倍の中間像を形成した後、第2対物部552を介してウエハW上の露光領域516にその照明領域515の縮小像を形成する。この構成によって、本例の投影光学系PLでは、全部のレンズL2~L4、L11~  
5 L21、L31、L32、L41~L52を軸対称にできると共に、それらのレンズの内のほぼ全部を石英より形成し、その内の3~4枚のレンズのみを蛍石より形成するだけで、広帯化された照明光ILの帯域幅である100µm程度の範囲内で色消しを高精度に行うことができる。

本例の投影光学系PLは、光学的には、以上のように第1対物部541及び光  
10 軸折り返し部543よりなる等倍光学系と、光軸偏向部546と、第2対物部552よりなる縮小投影系との3つに分けられるが、機械的構造としては、小型ミラー548が第1対物部541のレンズL4と光軸折り返し部543のレンズL11との間に入っている。そのため、仮にレンズL4、小型ミラー548及びレンズL11を同一の鏡筒に組み込むと、光軸偏向部546内の小型ミラー548  
15 とビームスプリッタ550とを調整上別々の鏡筒に組み込む必要がある。しかしながら、小型ミラー548とビームスプリッタ550とを異なる鏡筒に組み込むと、それら2つの部材の反射面の直交度の変動する恐れがある。それら2つの反射面の直交度の変動すると、結像性能の劣化を招くため、本例では、等倍結像系を、光軸偏向部546の鏡筒547を介して第1対物部541と光軸折り返し部  
20 543とに分割して、小型ミラー548及びビームスプリッタ550をその鏡筒547内に固定している。

また、投影光学系PLを組み立てる際には、予め第1対物部541、光軸折り返し部543、光軸偏向部546、及び第2対物部552を別々に組立調整する。その後、コラム525の上板の貫通孔に光軸折り返し部543の鏡筒544、及び  
25 第2対物部552の鏡筒553の下部を挿通し、鏡筒544のフランジ544a及び鏡筒553のフランジ553aとコラム525の上板との間に座金を挟み、フランジ544a及び553aをその上板にねじで仮止めする。次いで、それら鏡筒544及び553の上端に光軸偏向部546の鏡筒547を載せて、鏡筒547のフランジ47a及び鏡筒553の上端のフランジ53bとの間に座金

を挟み、フランジ547aをフランジ553b上にねじで仮止めする。

そして、鏡筒544内のレンズL11の上方から調整用のレーザビームを鏡筒544の内部に照射して、そのレーザビームが鏡筒53の最下端のレンズL52から射出されて通過する位置（ウエハWの表面に相当する面上での位置）をモニタし、このモニタされた位置が目標位置になるように、フランジ544a、553a、547aの底部の座金の厚さの調整や、鏡筒542、553、547の横移動等を行う。そして、そのレーザビームの位置が目標位置に達した状態で、フランジ544a、553a、547aをねじ止めすることによって、光軸折り返し部543、第2対物部552、及び光軸偏向部546を固定する。最後に、鏡筒547の-Y方向の端部上方に第1対物部541の鏡筒542を移動し、鏡筒541の不図示のフランジと鏡筒547の対応する不図示のフランジとの間に座金を挟んで、鏡筒547上に鏡筒542を載置する。そして、再び例えば鏡筒542のレンズL1の上方から調整用のレーザビームを照射して、光軸調整を行った後、鏡筒547上に鏡筒542をねじ止めすることによって、投影光学系PLの投影露光装置への組み込みが終了する。

更に、本例では、振動に対する結像特性の安定性や投影光学系PLのバランスを考慮して、投影光学系PL内で結像光束の光路外に投影光学系PLの全体の重心554の位置を設定している。即ち、図30において、投影光学系PLの重心554は、光軸折り返し部543と第2対物部552との中間付近で、且つ鏡筒544のフランジ544a及び鏡筒553のフランジ553aより僅かに低い位置（コラム525の上板の内部）に設定されている。このように、投影光学系PLの重心554を更にフランジ544a、553aの近傍に設定することによって、投影光学系PLはより振動に強く、且つ高剛性の構造となっている。

また、上述のように本例の投影光学系PLの光軸偏向部546の内部で、且つビームスプリッタ550の近傍にレチクルRのパターン面と共役な中間像面が存在し、この中間像面の近傍に補正光学系549が配置されている。この補正光学系549としての例えばレンズ群を光軸AX2方向に微動するか、又はそのレンズ群の光軸AX2に垂直な面に対する傾斜角を調整することによって、ウエハW上に投影されるレチクルRの縮小像の投影倍率、及びディストーション等の結像

特性を補正できる。これに対して、従来はそのような結像特性補正機構はレチクルRのほぼ直下に設けられていた。本例によれば、レチクルRの直下には結像特性補正機構が無く、機構上の制約が無いため、図29のレチクル支持台518の剛性を設計上高くできる利点がある。また、補正光学系549と同様な微動可能な光学系を光軸折り返し部543又は第2対物部552に設けてやれば、投影像の収差（非点収差やコマ収差等）の補正及び像面湾曲の補正も可能となる。また、これらの組合せで高次の倍率誤差の補正も可能である。

次に、図30及び図36を参照して図29の反射光検出系530及び自己計測装置531の動作につき説明する。

10  まず、図30において、レチクルR上の照明領域515を通過した照明光ILは、第1対物部541及び光軸折り返し部543よりなる等倍光学系、光軸偏向部546、及び第2対物部552（縮小投影系）を介してウエハW側に照射される。ここで、ウエハWの代わりに基準マーク部材FMが設定されていると、基準マーク部材FMからの反射光は、図30において、第2対物部552を経て光軸  
15  偏向部546内のビームスプリッタ550に入射する。このビームスプリッタ550は、透過率が5%であるため、そのビームスプリッタ550を透過した反射光は、図29の反射光検出系30で検出される。なお、図30ではその反射光検出系530は省略されている。

図36は、図30の光軸偏向部546上に図29の反射光検出系30が配置された状態での、光軸AX3を通りX軸に垂直な平面に沿った断面図を示し、この  
20  図36において、反射光検出系530は、第1及び第2の反射光検出系530a及び530bより構成されている。また、投影光学系PLの第2対物部552の有効露光フィールド内に基準マーク部材FMが設定され、基準マーク部材FM上で高反射率の膜（金属膜等）内に、光透過性の開口によってスリットやピンホール等の基準パターンが形成されている。図29のウエハステージ522を駆動することによって、その有効露光フィールド内の所定の位置付近に基準マーク部材  
25  FM上の所望の基準パターンを移動できるようになっている。

このように所望の基準パターンがその所定の位置付近に設定された後、図30のレチクルRを透過した照明光が投影光学系PLを介して基準マーク部材FM上

に照射され、基準マーク部材FM上で光軸AX3に関してほぼ対称な領域から第2対物部552に向けて反射光CL及びBLが発生している。

そして、一方の反射光CLは、第2対物部552内のレンズL52～L41を経て光軸偏向部546内のビームスプリッタ550に入射し、ビームスプリッタ550上の位置C1を透過した反射光CLは、鏡筒547の開口を通過して第1の反射光検出系530aに入射する。この反射光検出系530aにおいて、反射光CLは、偏向ミラー601A、及び第1リレーレンズ602Aを経てハーフミラー603Aに入射し、ハーフミラー603Aで反射された光束がフォトダイオード等からなる瞳位置光電検出器604Aの受光面に入射し、瞳位置光電検出器604Aの検出信号が自己計測装置531に供給される。

ここで、瞳位置光電検出器604Aは、紫外波長域の照明光の照射による投影光学系PLの透過率変化（投影光学系を通る光の減衰率変化）を計測するセンサとして機能する。

本例では、反射光CLのもとで、ビームスプリッタ550の近傍に基準パターン530の中間像が形成され、その中間像の第1リレーレンズ602Aによるフーリエ変換パターンが瞳位置光電検出器604Aの受光面に形成される。即ち、瞳位置光電検出器604Aの受光面は、基準マーク部材FMの表面に対してフーリエ変換面（瞳面）となっている。このとき、図30のレチクルRと基準マークFMとを相対移動することによって、瞳位置光電検出器604Aからの検出信号が変化することを利用して、自己計測装置531ではレチクルR上のパターンと基準マークFM上の基準パターンとの位置関係の検出を行う。

一方、ハーフミラー603Aを透過した光束は、第2リレーレンズ605Aを介して2次元CCD等からなる撮像素子606Aの撮像面にその基準マークの像を形成する。即ち、撮像素子606Aの撮像面は基準マーク部材FMの表面と共役であり、撮像素子606Aの撮像信号が自己計測装置531に供給される。自己計測装置531では、レチクルRと基準マーク部材FMとが静止した状態で、その撮像信号に基づいてレチクルR上のパターンと基準パターンとの位置関係の検出を行う。また、第1リレーレンズ602A及び偏向ミラー601Aは共に、第2対物部552の有効露光フィールドに対応する領域（照明フィールド）内の

特性補正装置 5 5 1 を制御することで、投影光学系 P L の結像特性を補正することができる。ここで、投影光学系 P L の結像特性は、倍率誤差、ディストーション、焦点位置、非点収差、コマ収差、像面湾曲、球面収差の少なくとも 1 つである。尚、焦点位置や像面傾斜の変動はフォーカス・チルト制御装置 5 2 7 によってウエハ W を移動させることでも調整することができる。

更に、従来は結像特性等を計測するための検出光と、露光用の照明光とが別であったため、検出光の開口数（ひいてはコヒーレンスファクタである  $\sigma$  値）と露光用の照明光の開口数（ $\sigma$  値）との不一致によって、計測される結像特性等が露光用の照明光のもとでの結像特性と異なる恐れもあった。また、結像特性等を計測するための受光系の開口数不足の問題等もあった。これに対して、本例によれば、露光用の照明光 I L がそのまま検出光として使用されると共に、反射光検出系 5 3 0 a、5 3 0 b は余裕を持って配置でき開口数を大きくできるため、結像特性等を高精度に計測できる。

次に、図 3 1 を参照して、図 3 0 のレチクル R 上の照明領域 5 1 5 とウエハ W 上の露光領域 5 1 6 との位置関係につき説明する。

図 3 1 (a) は、図 3 0 のレチクル R 上の照明領域 5 1 5 を示し、この図 3 1 (a) において、図 3 0 の投影光学系 P L の第 1 対物部 5 4 1 の円形の有効照明視野 5 4 1 a 内で、光軸 A X 1 に対して僅かに - Y 方向に外れた位置に、X 方向に長い矩形の照明領域 5 1 5 が設定されている。照明領域 5 1 5 の短辺方向（Y 方向）がレチクル R の走査方向となっている。図 3 0 において、第 1 対物部 5 4 1 及び光軸折り返し部 5 4 3 よりなる等倍光学系では、レチクル R 上の照明領域 5 1 5 を通過した結像光束は、凹面鏡 5 4 5 によって折り返されて小型ミラー 5 4 8 まで導かれるため、照明領域 5 1 5 は光軸 A X 1 に対して偏心させておく必要がある。

一方、図 3 1 (b) は図 3 0 のウエハ W 上の露光領域 5 1 6（照明領域 5 1 5 と共役な領域）を示し、この図 3 1 (b) において、図 3 0 の投影光学系 P L の第 2 対物部 5 5 2（縮小投影系）の円形の有効露光フィールド 5 5 2 a 内で、光軸 A X 3 に対して僅かに + Y 方向に外れた位置に、X 方向に長い矩形の露光領域 5 1 6 が設定されている。

これに対して、図31(c)は、図31(a)と同じく円形の有効照明視野541a内で、光軸AX1に対して僅かに-Y方向に外れた位置に設定された矩形の照明領域515を示している。また、図31(d)は、図30の第2対物部552を変形させた第2対物部の有効露光フィールド552aAを示し、この有効露光フィールド552aAの光軸AX3Aを中心として、X方向に長い矩形の露光領域516A(図31(c)の照明領域515と共役な領域)が設定されている。即ち、図31(d)に示すように、投影光学系PLの最終段である第2対物部552(縮小投影系)の構成を変更することによって、ウエハW上の露光領域516Aは有効露光フィールド552aAの光軸を中心とする領域に設定できる。図31(b)と図31(d)とは、投影光学系PLの収差を除去するための設計の行い易さによって選択されるが、図31(b)は設計が容易であり、図31(d)は第2対物部(縮小投影系)のレンズ径を僅かに小さくできるという利点がある。

次に、図32を参照して図29のオフ・アクシス方式のアライメントセンサ528の構成につき詳細に説明する。

図32は、図30の投影光学系PLの外観を示し、この図32に示すように、投影光学系PLは、第1対物部541、光軸偏向部546、光軸折り返し部543、及び第2対物部552に分かれており、互いに振動や熱等の外乱に対して歪まないような設計が必要となる。そのため、フランジ544a、553aが載置されるコラム525の剛性、とりわけコラム525の内の光軸折り返し部543と第2対物部552との間の部分525aに関しては、高い剛性が必要となる。このような剛性を確保するためには、ウエハW上のアライメントマークとしてのウエハマークWMの位置を検出するアライメントセンサ528は、第2対物部552の側面部で、且つその高い剛性が必要な部分525aと反対側、即ち第2対物部552の+Y方向の側面部に設置する必要がある。また、コラム525の内で、第2対物部552の+Y方向の側面部、及び+X方向、-X方向の側面部に対向する部分525bは、その剛性の高い部分525aに比べて1/2以下に薄くなっており、その薄い部分525bの底部にアライメントセンサ528が配置されている。この配置にすることで、走査露光時にレチクルR及びウエハWが矢

任意の計測位置上に移動できるように構成され、その任意の計測位置での瞳位置光電検出器 6 0 4 A の検出信号、及び撮像素子 6 0 6 A の撮像信号を取り込めるようになっている。

ここで、撮像素子 6 0 6 A は、紫外波長域の照明光の照射によって変動する投影光学系 P L 透過率に基づく投影光学系の結像特性（例えば投影倍率、焦点位置、及びザイデルの 5 収差の少なくとも一つ）の変化を検知するセンサとして機能する。

更に、第 1 の反射光検出系 5 3 0 a と対称に、光軸偏向部 5 4 6 のビームスプリッタ 5 5 0 の位置 C 2 の上方に偏向ミラー 6 0 1 B、第 1 リレーレンズ 6 0 2 B、ハーフミラー 6 0 3 B、瞳位置光電検出器 6 0 4 B、第 2 リレーレンズ 6 0 5 B、及び撮像素子 6 0 6 B よりなる第 2 の反射光検出系 5 3 0 b が配置されている。この反射光検出系 5 3 0 b では、基準マーク部材 F M 上で反射光 C L とほぼ対称に発生する反射光 B L を受光できるように構成されている。実際には、第 2 の反射光検出系 5 3 0 b の第 1 リレーレンズ 6 0 2 B 及び偏向ミラー 6 0 1 B も、第 1 の反射光検出系 5 3 0 a とは独立に移動できるように構成され、第 2 対物部 5 5 2 の有効露光フィールドに対応する照明フィールド内の任意の 2 箇所での計測が可能となっている。

実際の計測を行う場合、仮にレチクル R が全透過型であれば、基準マーク部材 F M の基準パターン（開口パターン）の周囲での反射光のみが、第 2 対物部 5 5 2 及びビームスプリッタ 5 5 0 を介して反射光検出系 5 3 0 a、5 3 0 b 内で検出されるため、その基準パターン上での光量分布を調べることができる。

また、レチクル R に所定のパターンが形成されている場合は、このパターンの基準パターン部材 F M 上への投影像と、その基準パターンとの重ね合わせによって反射光検出系 5 3 0 a、5 3 0 b へ戻る光量が決定される。従って、ビームスプリッタ 5 5 0 を透過した反射光を反射光検出系 5 3 0 a、5 3 0 b で受光することによって、レチクル R 上パターンと基準マーク部材 F M 上の基準パターンとの位置関係を調べることができる。

自己計測装置 5 3 1 では、反射光検出系 5 3 0 a、5 3 0 b からの検出信号、及び撮像信号を処理することによって、レチクル R と基準マーク部材 F M との

また、アライメントセンサ 5 2 8 による計測を高精度に行うためには、アライメントセンサ 5 2 8 の検出中心 (指標マークのウエハ W 上への投影像の中心) と、投影光学系 P L の露光中心 (露光領域 5 1 6 の中心) との間隔 (ベースライン量) をできるだけ小さくすることが望ましい。そのためには、アライメントセンサ 5 2 8 はできるだけ投影光学系 P L の第 2 対物部 5 5 2 に近接して配置される。

ところが、その第 2 対物部 5 5 2 に近接して配置する必要のある装置としては、オフ・アクシス方式のアライメントセンサ 5 2 8 の他に、ウエハ W の表面のフォーカス位置及び傾斜角を検出するための図 2 9 の多点の A F センサ 5 2 6 もある。そこで、本例では、アライメントセンサ 5 2 8 と A F センサ 5 2 6 との機械的な干渉を防止するために、A F センサ 5 2 6 をアライメントセンサ 5 2 8 と直交するように、第 2 対物部 5 5 2 に対して  $\pm X$  方向の側面部に配置する。

図 3 3 は、A F センサ 5 2 6 の配置状態を示し、この図 3 3 は、図 3 2 の第 2 対物部 5 5 2 の光軸 A X 3 を通り Y 軸に垂直な平面 (X Z 平面) に沿った断面図であるが、説明の便宜上図 3 3 の上半面は図 3 2 のレチクル及び第 1 対物部 5 4 1 の左側面図を示してある。図 3 3 において、A F センサ 5 2 6 は、照射光学系 5 2 6 a と集光光学系 5 2 6 b とに分かれており、照射光学系 5 2 6 a 及び集光光学系 5 2 6 b はそれぞれ第 2 対物部 5 5 2 の  $-X$  方向及び  $+X$  方向の側面部で、且つ図 3 2 に示すコラム 5 2 5 の内の剛性の高い厚い部分 5 2 5 a に比べて薄い部分 5 2 5 b の底部に配置されている。

先ず、照射光学系 5 2 6 a において、不図示のハロゲンランプ等からのフォトレジストに対する感光性が弱くほぼ白色の照明光は、光ガイド 5 8 1 を介して第 2 対物部 5 5 2 の側面部に導かれ、その照明光は、ミラー 5 8 2、及びコンデンサレンズ 5 8 3 を経て、所定の配列で複数のスリット状開口が形成されたマルチスリット板 5 8 4 を照明する。このマルチスリット板 5 8 4 の各スリット状開口を透過した照明光は、レンズ 5 8 5、振動ミラー 5 8 6、及びレンズ 5 8 7 を介して、ウエハ W 上に光軸 A X 3 に対して斜めにそれら複数のスリット状開口の共役像である複数のスリット像 (図 3 3 では代表的に 1 つのスリット像 5 8 8 を示す) を投影する。なお、それらのスリット像が投影される領域は、図 2 9 に示すウエハ W 上の矩形の露光領域 5 1 6 内、及びこの露光領域 5 1 6 に対して走査方

印の方向（Y方向）に走査されるときも、第1対物部541、光軸偏向部546、光軸折り返し部543、及び第2対物部552は一体の投影光学系PLとして支持され、投影光学系PLは高い剛性が得られることになる。

- 図32のオフ・アクシス方式のアライメントセンサ528において、アライメント時に、不図示のハロゲンランプ等から射出されたウエハW上のフォトレジストに対する感光性の弱い、広帯域（白色）のアライメント光ALは、光ガイド562を介してアライメントセンサ528の鏡筒561内に導かれる。この鏡筒561内で、アライメント光ALは、コンデンサレンズ563を介してハーフミラー564を透過した後、第1対物レンズ565、及びプリズム型の偏向ミラー566を経てウエハW上のウエハマークWMを含む所定範囲の観察視野を照明する。ウエハマークWMからの反射光は、偏向ミラー566、第1対物レンズ565を経てハーフミラー564で反射された後、第2対物レンズ567によって指標板568上にそのウエハマークWMの像を形成する。指標板568上には、ウエハマークWMの位置検出の基準となる指標マークが形成されている。
- 指標板568を透過した光束は、第1リレーレンズ569、偏向ミラー570、及び第2リレーレンズ571を経て、2次元CCDよりなる撮像素子572上にウエハマークWM及び指標マークの像を再形成する。ここで、ウエハマークWMは例えばY方向に所定ピッチで配列された凹凸のY軸の格子状マークであり、撮像素子572の撮像信号は図29のアライメント信号処理系529に供給される。アライメント信号処理装置529では、その撮像信号に基づいて指標板568上の指標マークに対するウエハマークWMのY方向への位置ずれ量を算出し、その位置ずれ量に図29のレーザ干渉計524で計測されるY座標を加算することによって、ウエハマークWMのステージ座標系（X，Y）でのY座標を算出して、主制御装置507に供給する。なお、そのウエハマークWMを90°回転した形状のX軸のウエハマークもウエハW上の当該ショット領域に付設され、そのX軸のウエハマークのステージ座標系（X，Y）でのX座標もアライメントセンサ528によって検出される。このように、ウエハW上の所定のショット領域に付設されたウエハマークの座標をアライメントセンサ528を介して検出することによって、ウエハWのアライメントが行われる。

いる。そこで、図34及び図35を参照して、本例のウエハ側のレーザ干渉計及び移動鏡の具体的な配置の一例につき説明する。

図34は、図29のウエハWが載置された試料台521の平面図であり、この図34において説明の便宜上、図30の投影光学系PLの第2対物部552の外形及び図32のアライメントセンサ528の観察視野28aと、第1対物部541、光軸折り返し部543の外形及びレチクルRとが正確な位置関係で示されている。また、図34では、第2対物部552の光軸AX3が試料台521上の基準マーク部材FM上にある状態が示されている。

本例では、図30で示したように、投影光学系PLの第1対物部541及び光軸折り返し部543と、第2対物部552との間のコラム525は剛性を高めるために強固な構造になっており、それらの間にレーザ干渉計を配置することは困難である。更に、仮にそれらの間にレーザ干渉計を配置できたとしても、レーザ干渉計の光軸に沿ってダウンフローによる空調を行う十分なスペースが無く、レーザ干渉計が空気揺らぎの影響を受け易い構造となってしまう。

そこで、空気揺らぎの影響を避けるために、本例では図34に示すように、レーザ干渉計を投影光学系PLの第2対物部552に関して光軸折り返し部543と反対側、即ち第2対物部552に対して+Y方向、及び-X方向に配置する。図34において、試料台521の+Y方向の側面部にY軸に垂直な反射面を有する移動鏡524mYが固定され、試料台521の-X方向の側面部に移動鏡524mYの反射面に直交する(X軸に垂直な)反射面を有する移動鏡524mXが固定されている。また、Y軸の移動鏡524mYに対向するようにY軸のレーザ干渉計524Yが配置され、レーザ干渉計524YからY軸に平行に3軸のレーザビームが移動鏡524mYに照射されている。図34では、その3軸のレーザビームの内のX方向に所定間隔で配列された2軸のレーザビームLBY1、LBY2を示し、これら2軸のレーザビームLBY1、LBY2は、第2対物部552の光軸AX3及びアライメントセンサ528の観察視野28aの中心を通りY軸に平行な直線に関して対称な位置を通過している。

また、図35(a)は図34の試料台521を+X方向に見た側面図であり、この図35(a)に示すように、2軸のレーザビームLBY1、LBY2に対し

向に手前側の先読み領域である。

ウエハW上のそれら複数のスリット像からの反射光は集光光学系526bに入射する。集光光学系526bにおいて、その反射光は、レンズ589、ミラー590及びレンズ591を経て、マルチスリット板584に対応して複数のスリット状開口が形成されたマルチスリット板592上に、それら複数のスリット像(588等)を再結像する。また、マルチスリット板592の裏面には、マルチスリット板592の各スリット状開口を通過した反射光をそれぞれ独立に受光するフォトダイオード等の光電変換素子が配列された光電検出器593が配置され、光電検出器593の各光電変換素子からの光電変換信号(以下、「フォーカス信号」と呼ぶ)がフォーカス・チルト制御装置527に供給されている。

この場合、振動ミラー586の振動によって、マルチスリット板592上で再結像されるスリット像は対応するスリット状開口上で短辺方向に振動し、且つウエハWの表面のフォーカス位置(Z方向の位置)が変化すると、そのスリット像の振動中心と対応するスリット状開口の中心とが横ずれする。そこで、各スリット状開口を通過した反射光の光電変換信号であるフォーカス信号を、フォーカス・チルト制御装置527内で振動ミラー586の駆動信号で同期整流することによって、ウエハW上の各スリット像(588等)の投影位置でのフォーカス位置の変化量に対応する信号が得られる。また、予めウエハWの表面が投影光学系PLの結像面に合致しているときにそれらのフォーカス信号の同期整流信号が0となるように、AFセンサ526のキャリブレーションが行われている。従って、フォーカス・チルト制御装置527では、それらの同期整流信号から、ウエハW上の露光領域516、及びこれに対する先読み領域でのフォーカス位置の平均値、及び傾斜角を求めることができる。これらのフォーカス位置の平均値、及び傾斜角の情報は、ほぼリアルタイムで主制御装置507を介してステージ制御装置513に供給され、ステージ制御装置513では、前述のように走査露光中にウエハW上の露光領域516が投影光学系PLの結像面に合致するようにオートフォーカス及びオートレベリングを行う。

次に、図29では、実際には2次元的に配置されているレーザ干渉計、及び移動鏡をそれぞれ1つのレーザ干渉計524、及び1つの移動鏡524mで表して

がりの補正を行うこともできる。

この結果、本例では、図34に示すように、試料台521に対して+Y方向及び-X方向にそれぞれレーザ干渉計524Y及び524Xが配置され、且つ試料台521に対して-Y方向に沿って光軸折り返し部543、第2対物部552等からなる投影光学系PLが配置されており、試料台521に対して+X方向側(レーザ干渉計524Xと対称な方向)の空間が利用可能となっている。そこで、本例では、その試料台521に対して+X方向側に、試料台521に対するウエハのロード及びアンロードを行うためのウエハローダWL等を含むウエハ搬送系を配置する。

この構成によって、レーザ干渉計524X、524Yからのレーザビームの光路に対してダウンフローとなる空調が可能となる。具体的に、例えばレーザビームLBY1、LBY2、LBX1、LBX2の上方から投影露光装置が設置されている床面に対して、一様な温度分布に温度調節された一様な速度分布の空気等を流し、床面でその空気等を回収することによってダウンフローの空調が行われる。これによって、レーザ干渉計524X、524Yでは、レーザビームの光路における空気揺らぎの影響が小さくなり、試料台521の位置、及び回転角等の計測精度が向上する利点がある。

また、図35(a)において、試料台521はセラミックスより形成され、移動鏡524mY(524mXも同様)も試料台521と同じ材質のセラミックスより形成されている。そして、移動鏡524mYは不図示の固定用のねじを介して試料台521の側面に固定されている。ところが、ウエハWは試料台521上にウエハホルダ520を介して保持されているため、ウエハWの位置とレーザ干渉計524YからのレーザビームLBY1、LBY2の光軸の位置とはZ方向にずれている。そのため、試料台521にピッチング等が生ずると、所謂アッペ誤差によってレーザ干渉計524Yで計測されるY座標と、試料台521(より正確にはウエハW)の実際のY座標との間に位置ずれ量 $\Delta Y$ が生ずる。そこで、本例では、レーザビームLBY1、LBY2に対してZ方向にずれた位置を通過するレーザビームLBY3を使用して、レーザビームLBY1、LBY2により計測されるY座標の平均値 $(Y1 + Y2) / 2$ と、レーザビームLBY3により計

てZ方向に所定間隔で3軸目のレーザビームLBY3が、レーザ干渉計524YからY軸に平行に移動鏡524mYに照射されている。図35(b)に示すように、レーザビームLBY3は、X方向において2軸のレーザビームLBY1、LBY2の中間位置を通過している。そして、レーザ干渉計524Yでは3軸のレーザビームLBY1、LBY2、LBY3のそれぞれに対応するY座標Y1、Y2、Y3を0.001 $\mu$ m程度の分解能で常時検出して、ステージ制御装置513に出力している。ステージ制御装置513では、例えば2つのY座標Y1、Y2の平均値、及び差分をそれぞれ試料台521のY座標、及び回転角(ヨーイング)として求める。なお、その回転角の計測時には、移動鏡524mYの曲がりの補正も行われる。

また、図34において、X軸の移動鏡524mXに対向するようにX軸のレーザ干渉計524Xが配置され、レーザ干渉計524XからX軸に平行に3軸のレーザビームが移動鏡524mXに照射されている。図34では、それらの内のY方向に所定間隔で配列された2軸のレーザビームLBX1、LBX2を示し、これらのレーザビームLBX1及びLBX2はそれぞれ、第2対物部552の光軸AX3を通りX軸に平行な光路、及びアライメントセンサ528の観察視野528aの中心を通りX軸に平行な光路を通過している。

また、図35(a)及び(b)と同様に、2軸のレーザビームLBX1、LBX2に対してZ方向に所定間隔で3軸目のレーザビームが、レーザ干渉計524XからX軸に平行に移動鏡524mXに照射されている。レーザ干渉計524Xでは2軸のレーザビームLBX1、LBX2のそれぞれに対応するX座標X1、X2、及び残りの1軸に対応するX座標X3を0.001 $\mu$ m程度の分解能で常時検出して、ステージ制御装置513に出力している。ステージ制御装置513では、ウエハWへの露光時には光軸AX3に対応するX座標X1を試料台521のX座標とし、アライメント時には観察視野528aの中心に対応するX座標X2を試料台521のX座標とする。これによって、露光時、アライメント時のそれぞれにおいて、計測対象位置と計測軸との位置ずれに起因する所謂アッペ誤差が殆ど0となり、高精度に位置検出を行うことができる。なお、Y軸の移動鏡524mYと同様に、2つのX座標X1、X2に基づいて、移動鏡524mXの曲

また、上述の実施の形態ではレチクルR上の照明領域515の形状は矩形であるが、その照明領域が円弧状の場合でもよい。但し、本例のように照明領域515の形状が有効照明視野にほぼ内接する矩形である場合には、レチクルRのパターン領域も矩形であるため、レチクルRの走査量を短くできる利点がある。

- 5     さらに、上述の実施の形態では走査型投影露光装置を例示したが、レチクルとウエハとを静止させた状態で露光する投影露光装置（所謂ステッパー）であってもよい。また、投影光学系PLは反射屈折型に限らず、屈折型、又は反射型の光学系であってもよい。

- 10    このように、本発明は上述の実施の形態に限定されず、本発明の要旨を逸脱しない範囲で種々の構成を取り得る。

測されるY座標Y3との差分より試料台521のX軸の周りでの傾斜角 $\Delta\theta$ を算出する。そして、その傾斜角 $\Delta\theta$ に基づいてレーザビームLBY1, LBY2により計測されるY座標の平均値を補正することによって、ウエハWの高さとレーザビームLBY1, LBY2の高さとが異なることに起因するアッペ誤差を補正している。

同様に、X軸のレーザ干渉計524Xについても、3軸目のレーザビームの計測値を用いることによって、レーザビームLBX1, LBX2による計測値に混入しているアッペ誤差を補正している。

このように試料台521の側面に移動鏡524mY, 524mXを取り付ける方法を採用することで、図34に示すように、移動鏡524mY, 524mX上の空間を例えばウエハホルダ520の端部を配置する等で有効利用できる。この結果、試料台521の全体を小さくし、且つ軽量化できるので、ウエハWの走査時及び位置決め時の制御性が向上している。

更に、セラミックスの複雑な加工は時間を要し、製造コストが非常に高くなる。これに対して、本例では、面精度を必要とする移動鏡524mY, 524mXと試料台521とを同じ材質でありながら分けて製造した後に結合することで、個々の部品の形状を単純化して、全体として製造コストを低減させている。また、温度管理が難しい場合、剛性は落ちるがゼロデュア等の膨張係数の小さい材料をセラミックスの代わりに用いてもよい。

なお、上述の実施の形態のオフ・アクシス方式のアライメントセンサ528は撮像方式(FIA方式)であるが、それ以外に、スリット状のレーザビームとドット列状のウエハマークとを相対走査するレーザ・ステップ・アライメント(LSA)方式や、回折格子状のウエハマークに対して可干渉な2光束を照射して、そのウエハマークから同一方向に発生する1対の回折光よりなる干渉光の位相に基づいて位置検出を行う2光束干渉方式(LIA方式)等のアライメントセンサを使用してもよい。また、上述の実施の形態では、投影光学系PL内の光学系を駆動して結像特性を補正しているが、その代わりに、投影光学系PL内の所定のレンズ間の気体の圧力の可変機構、又は温度可変機構を用いて結像特性を補正してもよい。

域のいずれかに配置されることを特徴とする装置。

4. 請求項3に記載の露光装置において、前記照射手段は、前記露光用エネルギーとして波長200nm以下の紫外パルス光を放射するパルスレーザー光源と、該紫外パルス光を前記マスク上に設定される所定の照明領域に向けて照射する露光用照明系とを含み、前記ビーム投射手段は、前記パルスレーザー光源からの紫外パルス光を利用して前記計測ビームを生成するビーム生成光学系を有することを特徴とする装置。

5. 請求項4に記載の露光装置において、前記ビーム生成光学系を前記投影光学系の物体面側に配置し、前記反射エネルギーを検出する検出手段を前記投影光学系の物体面側に配置したことを特徴とする装置。

6. 請求項4に記載の露光装置において、前記ビーム生成光学系を前記投影光学系の像面側に配置し、前記反射エネルギーを検出する検出手段を前記投影光学系の像面側に配置したことを特徴とする装置。

7. 請求項3に記載の露光装置において、前記反射部材は前記反射エネルギーを前記投影光学系内の投影光路の外側に偏向する反射面を有し、前記反射エネルギーを検出する検出手段を投影光路の外側に配置したことを特徴とする装置。

8. 請求項3に記載の露光装置において、前記反射部材を前記投影光学系のフーリエ変換面内、若しくはその近傍面内に出し入れ可能に支持する可動機構を有し、前記反射部材は前記計測ビームを前記投影光学系内に投射するときは投影光路内に進入し、前記マスクのパターンを前記基板に投影露光するときは投影光路内から退出することを特徴とする装置。

9. 請求項2に記載の露光装置において、前記投影光学系は、屈折光学素子と反射光学素子とを組み合わせたカタディオプトリックタイプであることを特徴とする装置。

10. マスクのパターンの一部分を波長250nm以下の露光用エネルギーで照射し、前記パターンの部分像を投影光学系を通して被露光基板上に投影しつつ前記マスクと前記被露光基板とを前記投影光学系の視野に対して相対的に走査することにより、前記マスクのパターンの全体像を前記被露光基板上に走査露光する方法において、

## 請 求 の 範 囲

1. マスクに形成されたパターンを波長250nm以下の露光用エネルギーで照射する照射手段と、前記マスクのパターンの像を基板上の所定位置に投影する投影光学系とを備えた露光装置において、

- 5 前記投影光学系の物体面と像面との間に形成されるフーリエ変換面内、若しくはその近傍の面内の少なくとも一部分に配置され、前記投影光学系の物体面側から入射する露光用エネルギー、又は前記投影光学系の像面側から入射する露光用エネルギーに対して反射性を有する反射部材を配置し、

- 10 前記投影光学系の減衰率変動に起因した露光量の制御精度劣化を低減するために、前記反射部材からの反射エネルギーの強度に基づいて前記基板に対する露光条件を設定することを特徴とする装置。

2. マスクに形成されたパターンを波長250nm以下の露光用エネルギーで照射する照射手段と、前記マスクのパターンの像を基板上の所定位置に投影する投影光学系とを備えた露光装置において、

- 15 前記投影光学系の物体面と像面との間に形成されるフーリエ変換面内、若しくはその近傍の面内の少なくとも一部分に配置され、前記投影光学系の物体面側から入射する露光用エネルギー、又は前記投影光学系の像面側から入射する露光用エネルギーに対して反射性を有する反射部材と；

- 20 前記露光用エネルギーをほぼコリメートされた状態の計測ビームにして前記投影光学系の物体面側または像面側から前記反射部材に向けて投射するビーム投射手段と；

前記反射部材によって反射されるエネルギーを検出し、その反射エネルギーに応じた検出信号を出力する検出手段と；

- 25 前記投影光学系の減衰率変動に起因した露光量の制御精度劣化を低減するために、前記検出手段からの検出信号を利用して前記基板に対する露光条件を設定する露光制御手段とを備えたことを特徴とする装置。

3. 請求項2に記載の露光装置において、前記反射部材は、前記投影光学系のフーリエ変換面、若しくはその近傍面内のほぼ中央部、周辺部、或いはほぼ全

を投影光学系を介して基板上の複数の位置の各々に順次投影露光するリソグラフィ工程を実施することにより、前記基板上に回路デバイスを形成する製造方法において、

- 5 前記投影光学系の投影光路内に形成されるフーリエ変換面内、若しくはその近傍の面内の少なくとも一部に配置される反射部材を介して、前記投影光路内を通る露光用エネルギーの強度を前記投影光学系の減衰率による変化分を含んで検出する段階と；

- 10 前記投影光学系の減衰率変動に起因した露光量の制御精度劣化を低減するために、前記基板を目標露光量で露光するための露光条件を前記検知されたエネルギー強度に応じて設定する段階とを含むことを特徴とする回路デバイス製造方法。

17. 請求項16に記載の回路デバイス製造方法において、前記反射部材は、前記投影光学系内のフーリエ変換面またはその近傍面に位置する屈折性光学素子或いは反射性光学素子の一部に形成されることを特徴とする方法。

- 15 18. 請求項17に記載の回路デバイス製造方法において、前記露光条件を設定する段階は、前記マスクに照射される露光用エネルギーの強度検出結果、前記反射部材で反射したエネルギーの強度検出結果、及び前記基板に与えるべき目標露光量に基づいて、前記マスクに照射される露光用エネルギーの照度と前記マスクに照射される露光用エネルギーの照射継続時間との少なくとも1つを調整することを特徴とする方法。

- 20 19. 請求項16に記載の露光方法において、前記反射部材は前記投影光学系内のフーリエ変換面のほぼ全面をカバーする面積を有し、前記投影光路内を通る露光用エネルギーの強度を検出する段階では、前記基板を前記マスクのパターンで露光するための露光用照明系からの露光エネルギーを前記投影光学系に投射し、前記フーリエ変換面のほぼ全面をカバーする反射部材からの反射エネルギー  
25 を検出することを特徴とする方法。

20. 請求項16に記載の露光方法において、前記投影光学系が、前記フーリエ変換面の近傍に反射光学素子を配置したカタディオプトリック系で構成される場合は、該反射光学素子を前記反射部材として兼用したことを特徴とする方法。

21. マスクに形成されたパターンを波長250nm以下の露光用エネルギー

前記走査露光の開始前に、前記投影光学系の物体面と像面との間に形成されるフーリエ変換面内、若しくはその近傍の面内の少なくとも一部分に配置される反射部材に露光用エネルギーを投射し、前記反射部材からの反射エネルギーの強度を検知する段階と；

- 5 前記パターンの全体像を前記被露光基板上に所定露光量で転写するための露光条件を、前記検知された強度に応じて設定する段階とを含むことを特徴とする露光方法。

- 10 11. 請求項10に記載の露光方法において、前記反射部材に投射される露光用エネルギーは、前記投影光学系の物体面側または像面側をほぼコリメートされた状態で通り、前記反射部材上でほぼ収斂されることを特徴とする方法。

- 15 12. 請求項11に記載の露光方法において、前記走査露光の際に、前記マスクが前記投影光学系の投影視野に対する走査開始位置と走査終了位置の少なくとも一方に移動したときに、前記露光用エネルギーをほぼ平行な計測ビームに整形して前記投影光学系の物体面側または像面側から前記反射部材に向けて投射し、  
15 前記反射部材からの反射エネルギーの強度を検出することを特徴とする方法。

- 20 13. 請求項12に記載の露光方法において、前記露光条件の設定は、走査露光のために前記マスクに照射される露光用エネルギーの強度検出結果、前記計測ビームの投射により前記反射部材で反射したエネルギーの強度検出結果、及び前記基板に与えるべき目標露光量に基づいて、走査露光中に前記マスクに照射される露光用エネルギーの照度、前記マスクに照射される露光用エネルギーの走査方向の幅、或いは走査露光中の前記マスクと基板との走査速度の少なくとも1つを調整することを特徴とする方法。

- 25 14. 請求項12に記載の露光方法において、前記反射部材は、前記投影光学系内のフーリエ変換面またはその近傍面に位置する屈折性光学素子或いは反射性光学素子の一部に形成されることを特徴とする方法。

15. 請求項10に記載の露光装置において、前記投影光学系は、屈折光学素子と反射光学素子とを組み合わせたカタディオプトリックタイプであることを特徴とする装置

16. マスクの回路パターンを露光用エネルギーで照射し、前記回路パターン

ギーの少なくとも一部を受光し、その強度に応じた検出信号を出力する第1検出手段と；

前記照射手段内に設けられた光源から前記マスクまでの光路のうち予め定められた位置における露光用エネルギーの強度を検出し、その強度に応じた検出信号

5 を出力する第2検出手段と；

前記第1検出手段と第2検出手段の各検出信号に基づいて、前記露光用エネルギーに対して前記照射手段内の光路または前記投影光学系内の光路で生じる減衰率の変動を検知する変動検知手段と；

10 該変動検知手段によって前記減衰率の変動が検知された場合は、前記基板に所望の露光量を与えるように露光条件を補正する露光制御手段とを設けたことを特徴とする投影露光装置。

24. 請求項23に記載の投影露光装置において、前記第1検出手段は、前記投影光学系の像面側の先端で前記像投影領域の外側に設けられた反射部材と、該反射部材で反射された露光用エネルギーの一部を光電検出する光電素子とを含む  
15 ことを特徴とする装置。

25. 請求項24に記載の投影露光装置において、前記反射部材は、前記像投影領域の外側を通ってきた露光用エネルギーが前記基板に到達するのを阻止するように全反射ミラー面で構成されることを特徴とする投影露光装置。

26. 請求項23に記載の投影露光装置において、前記露光制御手段は、前記  
20 検知された減衰率の変動に応じて、前記光源から射出される露光用エネルギーの強度、前記照射手段内に設けられたアッテネータの減衰率、及び前記基板に与えられる露光用エネルギーの照射時間のうちの少なくとも1つを補正することを特徴とする装置。

27. 請求項23に記載の装置前記光源は250nmよりも短い波長域において酸素の吸収帯を避けるような波長幅に設定された放射光を射出する紫外レーザー光源で構成されることを特徴とする装置。  
25

28. 請求項23に記載の投影露光装置において、前記投影露光装置は、前記基板を載置して前記投影光学系の像面と平行な面内で移動する可動ステージ機構と、該可動ステージ機構に設けられて前記投影光学系の像面側の像投影領域内で

で照射する照射光学系と、前記マスクのパターンの像を基板上の所定位置に投影する投影光学系とを備えた露光装置において、

- 前記投影光学系の物体面と像面との間に形成されるフーリエ変換面内、若しくはその近傍の面内の少なくとも一部分に配置され、前記照射光学系を介して前記
- 5 投影光学系の物体面側から入射する露光用エネルギーに対して反射性を有する反射部材を配置し、

前記照射光学系及び前記投影光学系の減衰率変動に起因した露光量の制御精度劣化を低減するために、前記反射部材からの反射エネルギーの強度に基づいて前記基板に対する露光条件を設定することを特徴とする装置。

- 10 22. マスクに形成されたパターンを波長250nm以下の露光用エネルギーで照射する照射光学系と、前記マスクのパターンの像を基板上の所定位置に投影する投影光学系とを備えた露光装置において、

- 前記投影光学系の物体面と像面との間に形成されるフーリエ変換面内、若しくはその近傍の面内の少なくとも一部分に配置され、前記照射光学系を介して前記
- 15 投影光学系の物体面側から入射する露光用エネルギーに対して反射性を有する反射部材と；

前記露光用エネルギーをほぼコリメートされた状態の計測ビームにして前記照射光学系及び前記投影光学系の物体面側から前記反射部材に向けて投射するビーム投射手段と；

- 20 前記反射部材によって反射されて、前記照射光学系を通過して戻るエネルギーを検出し、その反射エネルギーに応じた検出信号を出力する検出手段と；

前記照射光学系及び前記投影光学系の減衰率変動に起因した露光量の制御精度劣化を低減するために、前記検出手段からの検出信号を利用して前記基板に対する露光条件を設定する露光制御手段とを備えたことを特徴とする装置。

- 25 23. マスクに形成されたパターンを紫外域の波長を有する露光用エネルギーで照射する照射手段と、前記マスクのパターンの像を基板上の所定位置に投影する投影光学系とを備えた露光装置において、

前記マスクのパターン像が投影される像投影領域の外側であって前記投影光学系の視野内に配置され、前記投影光学系を通して前記基板側に向う露光用エネル

前記検出信号に基づいて、前記パターンの全体像を前記基板上に所望の露光量で転写するための露光条件を設定するとともに該露光条件に従って走査露光を制御する露光制御手段とを設けたことを特徴とする投影露光装置。

5 3 3. 請求項 3 2 に記載の投影露光装置において、前記制限手段は、前記照射手段の光路中の前記マスクとほぼ共役な位置に配置されて、前記相対走査の方向と交差した方向に伸びた直線スリット状または矩形状の開口部を有する照明視野絞りを備えたことを特徴とする装置。

3 4. 請求項 3 3 に記載の投影露光装置において、前記検出手段は、前記投影光学系と前記基板との間に配置された反射部材と、該反射部材によって反射される一部の露光用エネルギーを受光する光電素子とを含み、前記反射部材を前記投影光学系の視野内であって前記相対走査の方向に関して前記像投影領域の外側の領域に配置したことを特徴とする装置。

3 5. 請求項 3 4 に記載の投影露光装置において、前記反射部材を介して前記光電素子によって検出される露光用エネルギーは、前記照明視野絞りの一部に形成される小開口部から射出されて、前記照射手段、前記マスクのパターン領域の周辺透明部、及び前記投影光学系を通して投射されることを特徴とする装置。

3 6. 請求項 3 4 に記載の投影露光装置において、前記基板上の複数のショット領域の各々に対して前記走査機構が前記マスクと前記基板とを相対走査させる際、前記検出手段は、前記マスクが前記複数のショット領域の各々に対する相対走査のために助走開始位置にある間に前記反射部材を介して露光用エネルギーを検出することを特徴とする装置。

3 7. マスクのパターンの一部分を波長 250 nm 以下の紫外域の露光用エネルギーで照射し、前記パターンの部分像を投影光学系を通して被露光基板上に投影しつつ前記マスクと前記被露光基板とを前記投影光学系の視野に対して相対的に走査することにより、前記マスクのパターンの全体像を前記被露光基板上に走査露光する方法において、

前記走査露光の際に前記パターンの部分像の投影される像投影領域を前記投影光学系の視野内で前記相対走査の方向と交差した方向に伸びた多角形または円弧状に制限する段階と；

得られる露光用エネルギーの照度を検出する第3検出手段とを備え、前記露光制御手段は前記変動検知手段による検知結果と前記第3検出手段による検出結果とに基づいて前記露光条件を補正することを特徴とする装置。

29. 請求項23に記載の投影露光装置において、前記変動検知手段は、前記  
5 第1検出手段と第2検出手段との各検出信号の比率に対応したデータを所定の時間毎に順次記憶し、該記憶されたデータに基づいて前記減衰率変動の時間的な変化率を算出する演算処理回路を含むことを特徴とする装置。

30. 請求項23に記載の投影露光装置において、前記変動検知手段は、前記  
10 投影光学系と前記基板との間の空間において前記投影光学系の視野内の像投影領域内に挿脱可能に設けられた第4の検出手段を有し、該第4の検出手段が前記像投影領域内に挿入されたときは前記マスクのパターン領域周辺の透明部に露光用エネルギーを照射し、その透過光を光電検出することによって前記減衰率の変動を検知することを特徴とする装置。

31. 請求項30に記載の投影露光装置において、前記露光制御手段は、前記  
15 第1検出手段によって検知される減衰率変動に対応した検出信号を前記第4の検出手段によって検知された信号に基づいて較正することを特徴とする装置。

32. 紫外域の波長を有する露光用エネルギーを照射する照射手段と、前記マスク上に形成されたパターンの一部分を前記照射手段からの露光用エネルギーで照射することによって前記パターンの部分像を基板上に投影する投影光学系と、  
20 前記マスクと前記基板とを前記投影光学系の視野に対して相対的に走査する走査機構とを備え、該相対走査により前記マスクのパターンの全体像を前記基板上に走査露光する投影露光装置において、

前記マスクのパターンの部分像が投影される像投影領域を、前記投影光学系の視野内で前記相対走査の方向と交差した方向に伸びた多角形または円弧状に制限  
25 する制限手段と；

前記投影光学系の視野内であって前記相対走査の方向に関して前記像投影領域の外側の領域に配置され、前記投影光学系を通して前記基板側に向う露光用エネルギーの少なくとも一部を受光し、その強度に応じた検出信号を出力する検出手段と；

部のエネルギーを前記投影光学系の像面に近い位置で検出することによって、前記投影光学系の減衰率変動に起因した露光用エネルギーの強度変化を検知する段階と；

- 前記検知された強度変化に基づいて前記回路パターンを前記基板上に所望の露光量で転写するための露光条件を設定する段階とを含み、

前記回路パターンの像を前記基板上に順次投影露光していく間に生じ得る前記投影光学系の減衰率変動による露光量の制御精度の劣化を低減したことを特徴とする回路デバイス製造方法。

- 4 3. 請求項 4 2 に記載の回路デバイス製造方法において、前記投影光学系の減衰率変動に起因した露光用エネルギーの強度変化を検知するために、前記投影光学系の像面側の先端部に第 1 の検出器を設けることを特徴とする方法。

- 4 4. 請求項 4 3 に記載の回路デバイス製造方法において、前記基板を保持して 2 次元移動する可動ステージ上に、前記像投影領域内を通る少なくとも一部の露光用エネルギーの強度を検出する第 2 検出器を設け、該第 2 検出器の検出結果に基づいて前記第 1 の光電検出器の検出結果を校正することを特徴とする方法。

- 4 5. 請求項 4 3 又は請求項 4 4 に記載の回路デバイス製造方法において、前記第 1 の光電検出器または前記第 2 検出器によって露光用エネルギーを検出する際、前記マスクの回路パターン領域外の周辺部に露光用エネルギーを投射し、その周辺部を介して前記投影光学系を透過した露光用エネルギーを検出することを特徴とする方法。

4 6. 紫外波長域の照明光でマスク上の転写用パターンを照明し、該マスク上の転写用パターンを投影光学系を介して感光基板上に投影することで、前記マスク上の転写用パターンを前記感光基板上に転写する投影露光装置において、

- 前記紫外波長域の照明光の照射によって生じる前記投影光学系の減衰率変化を計測するセンサを有し、該センサの出力に基づいて、露光中の前記感光基板上での前記照明光の照度をほぼ一定に維持する制御装置を備えたことを特徴とする投影露光装置。

- 4 7. 請求項 4 6 に記載の投影露光装置において、前記センサは、前記感光基板からの反射光の少なくとも一部を受光することを特徴とする投影露光装置。

前記走査露光の開始前に、前記投影光学系の視野内で前記相対走査の方向に関して前記像投影領域の外側の領域を通る露光用エネルギーの少なくとも一部の強度を検知する段階と；

- 5 前記パターンの全体像を前記基板上に所望の露光量で転写するための露光条件を、前記検知された強度に基づいて前記走査露光の開始前に設定する段階とを含むことを特徴とする露光方法。

38. 請求項37に記載の露光方法において、前記露光条件を設定する際、前記投影光学系の視野内で前記相対走査の方向に関して前記像投影領域の外側の領域を通る露光用エネルギーの検知結果を、予め前記像投影領域内で計測された露光用エネルギーの照度に基づいて校正して用いることを特徴とする方法。

39. 請求項37に記載の露光方法において、前記投影光学系の視野内で前記相対走査の方向に関して前記像投影領域の外側の領域を通る露光用エネルギーを検知する際、前記像投影領域の外側の複数位置の各々における露光用エネルギーの強度を個別に検知し、その検出結果に基づいて露光用エネルギーの通過光路内の減衰率むらを計測することを特徴とする方法。

40. 請求項37に記載の露光方法において、前記露光用エネルギーは、酸素の吸収帯を避けるように狭帯化されたArFエキシマレーザ光源からのパルス光であることを特徴とする方法。

41. 請求項40に記載の露光方法において、前記投影光学系の視野内で前記相対走査の方向に関して前記像投影領域の外側の領域を通る露光用エネルギーを検知する際、前記マスク上のパターン領域の周辺透明部を前記投影光学系の物体側の視野内であって前記像投影領域の外側に位置付け、前記マスクの周辺透明部を通して露光用エネルギーを検知することを特徴とする方法。

42. 波長250nm以下の紫外域の露光用エネルギーで照射されるマスクに形成された回路パターンを投影光学系を介して基板上の複数の位置の各々に順次投影露光するリソグラフィ工程を実施することにより、前記基板上に回路デバイスを形成する製造方法において、

前記投影光学系の投影視野内で前記マスクの回路パターンの像が形成される像投影領域の外部領域を通して前記基板側に向う露光用エネルギーの少なくとも一

ることを特徴とする投影露光装置。

5 5. 請求項 5 3 に記載の投影露光装置において、前記投影光学系は、第 1 対物部及び凹面鏡を装備した光軸折り返し部とからなる等倍光学系と、光軸偏向部と、第 2 対物部よりなる縮小投影系とからなることを特徴とする投影露光装置。

5 5 6. 紫外波長域の照明光でデバイスパターンを照射し、投影光学系によって投影される前記デバイスパターンの像で基板を露光するフォトリソグラフィ工程を含むマイクロデバイスの製造方法において、

10 前記露光中、前記紫外波長域の照明光の照射によって生じる前記投影光学系の減衰率変化に基づいて、前記基板上での前記照明光の照度、照度むら、及び前記デバイスパターンの像特性の少なくとも一つを検出する段階を含むことを特徴とするマイクロデバイスの製造方法。

5 7. 照明光学系を通してマスクに照明光を照射するとともに、投影光学系を通して前記照明光で感光基板を露光する方法において、

15 前記照明光と前記投影光学系との少なくとも一部に、前記照明光の吸収が少ない気体を供給し、前記照明光の入射によって生じる前記照明光学系と前記投影光学系との少なくとも一方の透過率、又は反射率の変化に応じて、前記感光基の露光条件を変更することを特徴とする露光方法。

5 8. 請求項 5 7 に記載の露光方法において、前記透過率、又は反射率の変化に伴って生じる前記投影光学系の結像特性変化に応じて、前記マスクのパターンの像特性を更に調整することを特徴とする方法。

20 5 9. 照明光学系を通してマスクに照明光を照射し、前記照明光で感光基板を露光する方法において、

前記マスクと前記感光基板との間に配置され、前記照明光の吸収が少ない気体が充填される投影光学系と、

25 前記照明光の入射によって生じる前記投影光学系の透過率、又は反射率の変化に応じて、前記感光基板の露光条件を調整する調整装置とを備えたことを特徴とする投影露光装置。

48. 請求項46に記載の投影露光装置において、前記マスクに入射する前記照明光の一部を受光する受光素子を更に有し、前記制御装置は前記センサと前記受光素子の各出力を用いることを特徴とする投影露光装置。

49. 請求項46に記載の投影露光装置において、前記感光基板上での前記照明光の照度は、少なくとも前記投影光学系の露光領域内の平均照度、又は前記投影光学系の露光領域内の照度むらであることを特徴とする投影露光装置。

50. 請求項46に記載の投影露光装置において、前記投影光学系に対して相対的に前記マスクと前記感光基板とを同期して移動する駆動装置を更に有することを特徴とする投影露光装置。

51. 請求項50に記載の投影露光装置において、前記投影光学系は、第1対物部及び凹面鏡を装備した光軸折り返し部とからなる等倍光学系と、光軸偏向部と、第2対物部よりなる縮小投影系とからなることを特徴とする投影露光装置。

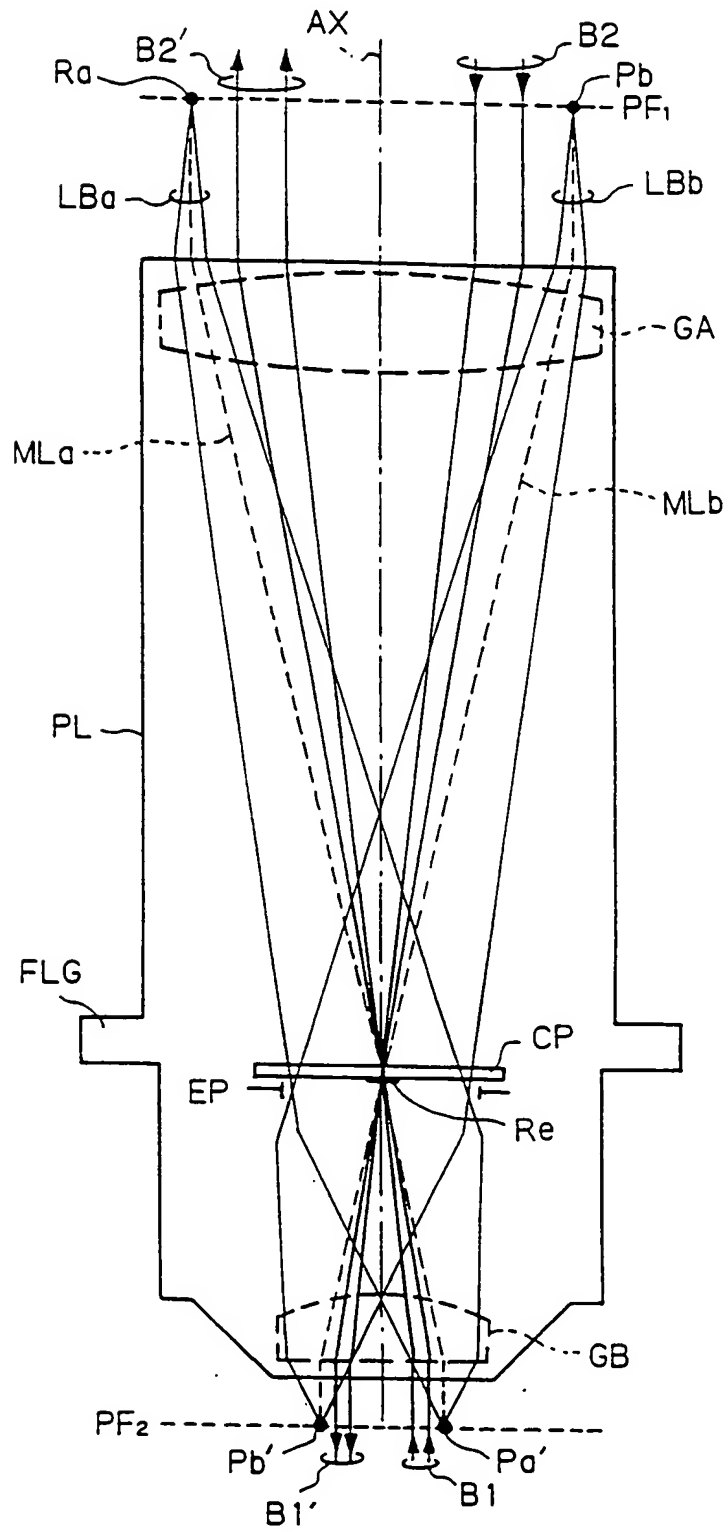
52. 紫外波長域の照明光でマスク上の転写用パターンを照明し、該マスク上の転写用パターンを投影光学系を介して感光基板上に投影することで、前記マスク上の転写用パターンを逐次前記感光基板上に転写する投影露光装置において、前記紫外波長域の照明光の照射によって生じる前記投影光学系の減衰率変化に基づく前記投影光学系の結像特性変化を検出するセンサを有し、該センサの出力に基づいて前記結像特性を制御する制御装置を備えたことを特徴とする投影露光装置。

53. 紫外波長域の照明光でマスク上の転写用パターンを照明し、投影光学系に対して前記マスクと感光基板とを同期移動することで、前記マスク上の転写用パターンを逐次前記感光基板上に転写する投影露光装置において、

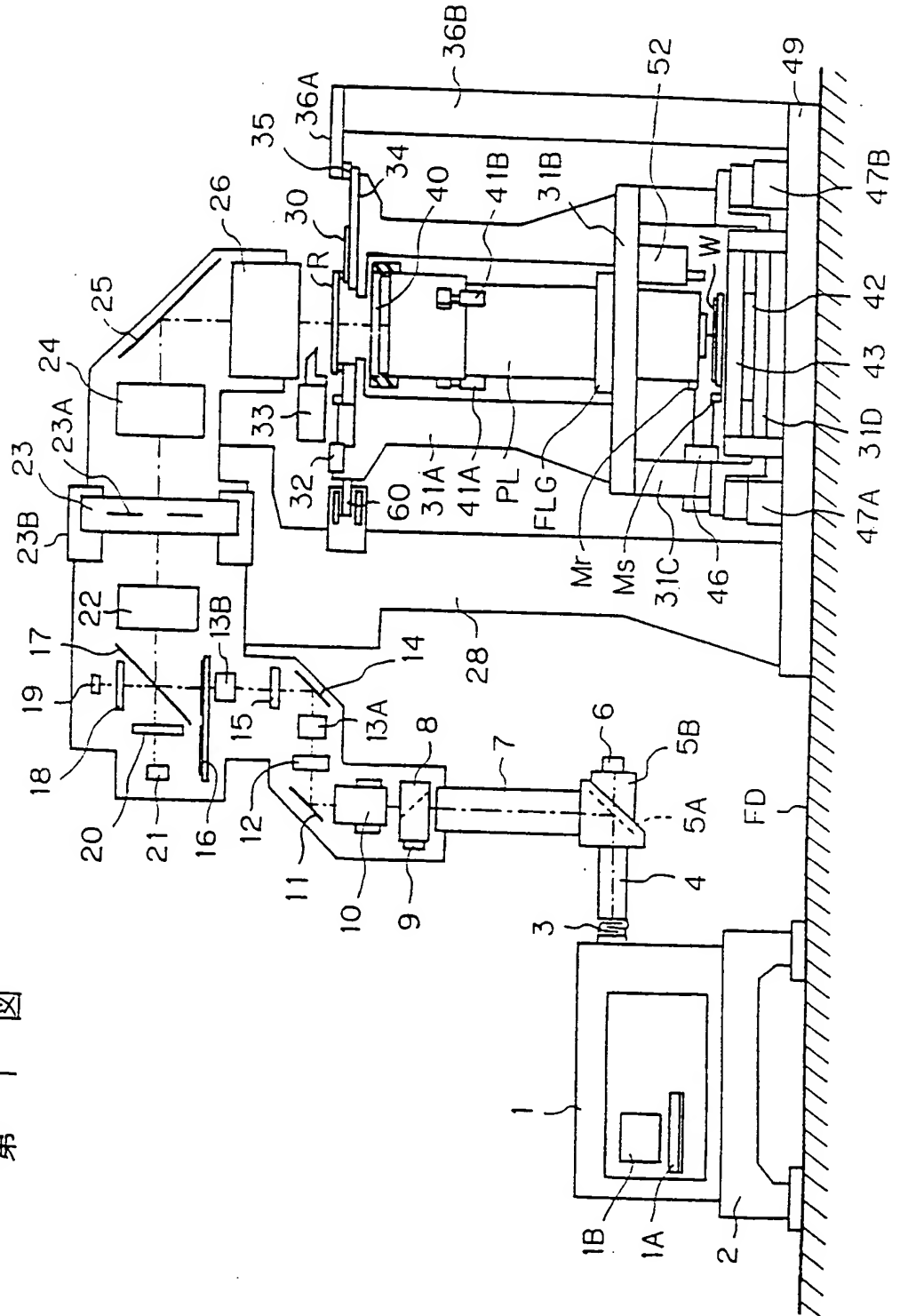
前記紫外波長域の照明光の照射によって生じる前記投影光学系の減衰率変化に基づいて、前記感光基板上での前記照明光の強度、前記感光基板の走査速度、及び前記感光基板の走査方向に関する前記照明光の照射領域の幅の少なくとも一つを調整する調整装置を備えたことを特徴とする投影露光装置。

54. 請求項53に記載の投影露光装置において、前記紫外波長域の照明光はパルス光であり、前記調整装置は、前記パルス光の発振周波数、前記照明光の強度、前記感光基板の走査速度、及び前記照射領域の幅の少なくとも一つを調整す

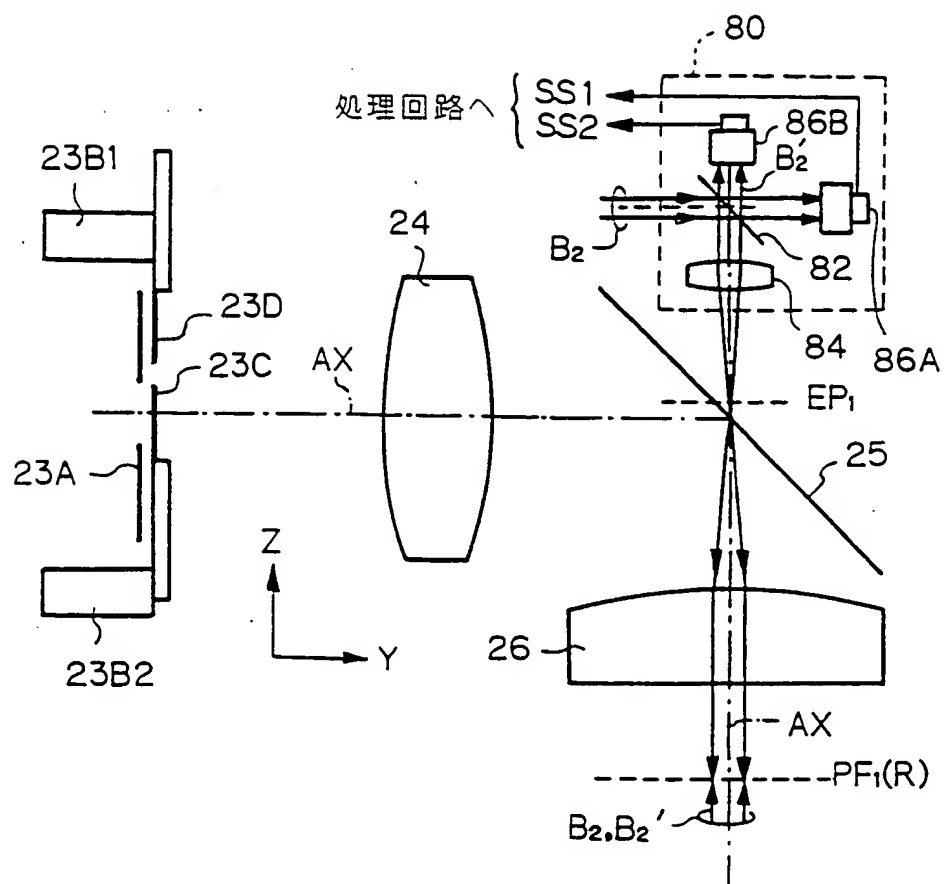
第 2 図



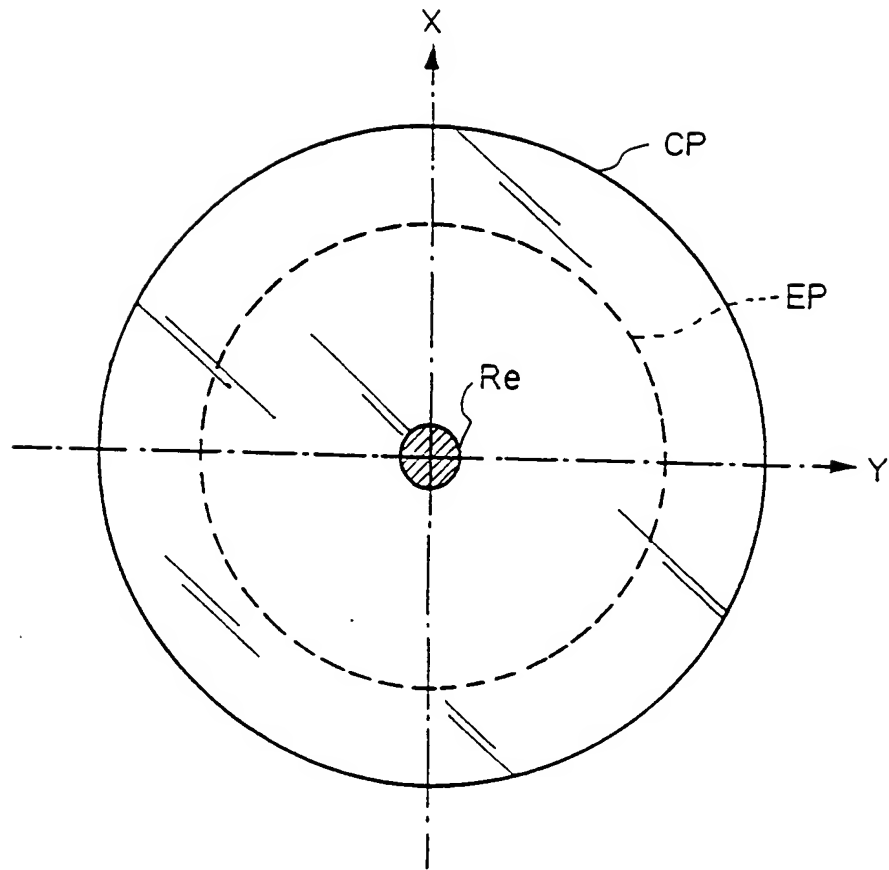
第 1 図



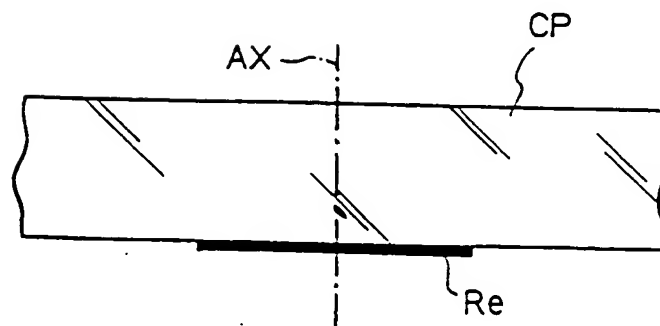
第 5 図



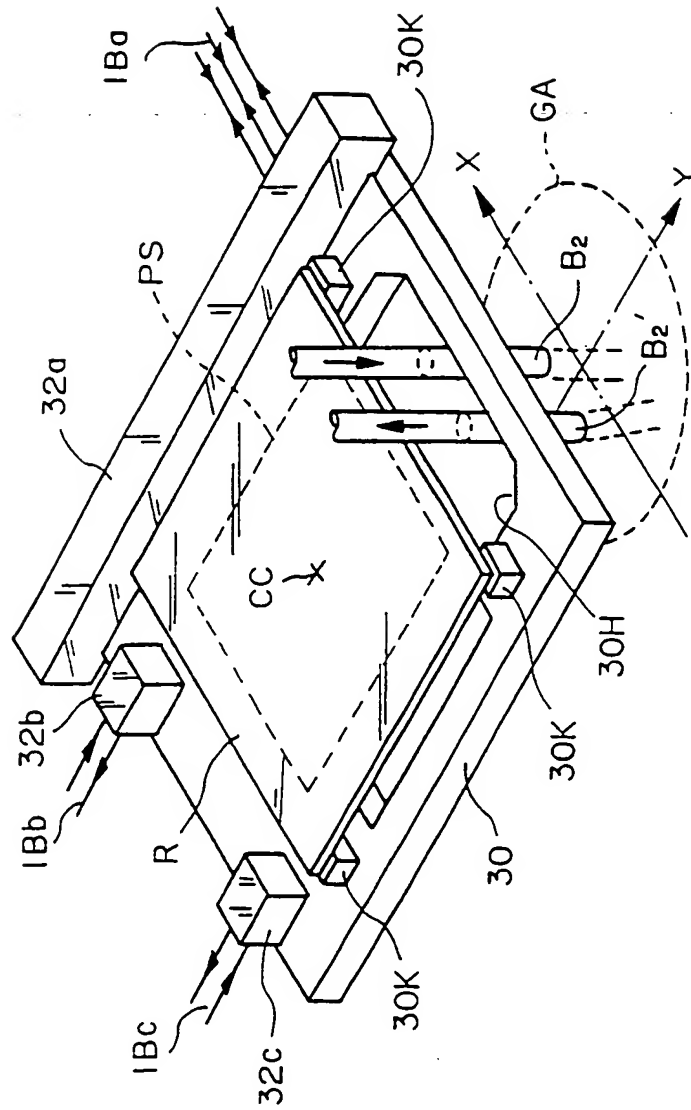
第 3 図



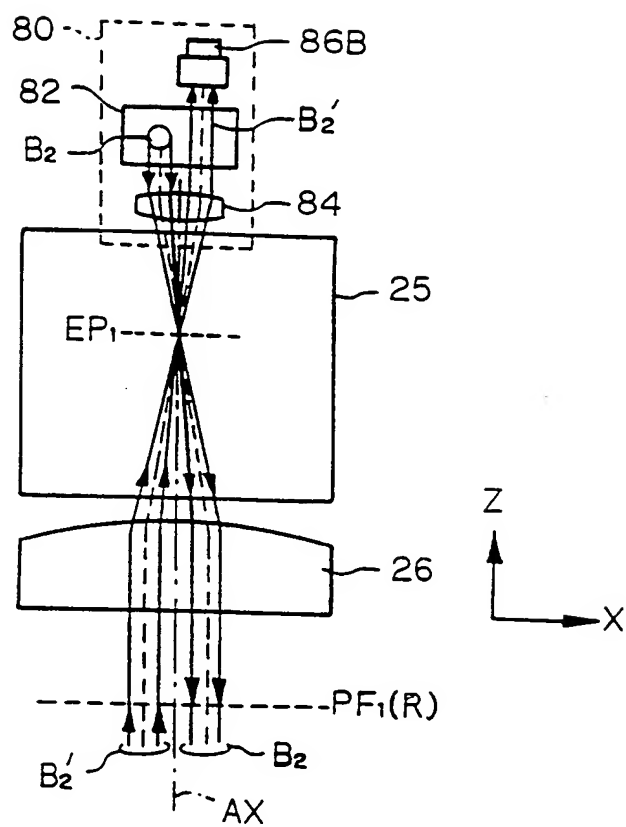
第 4 図



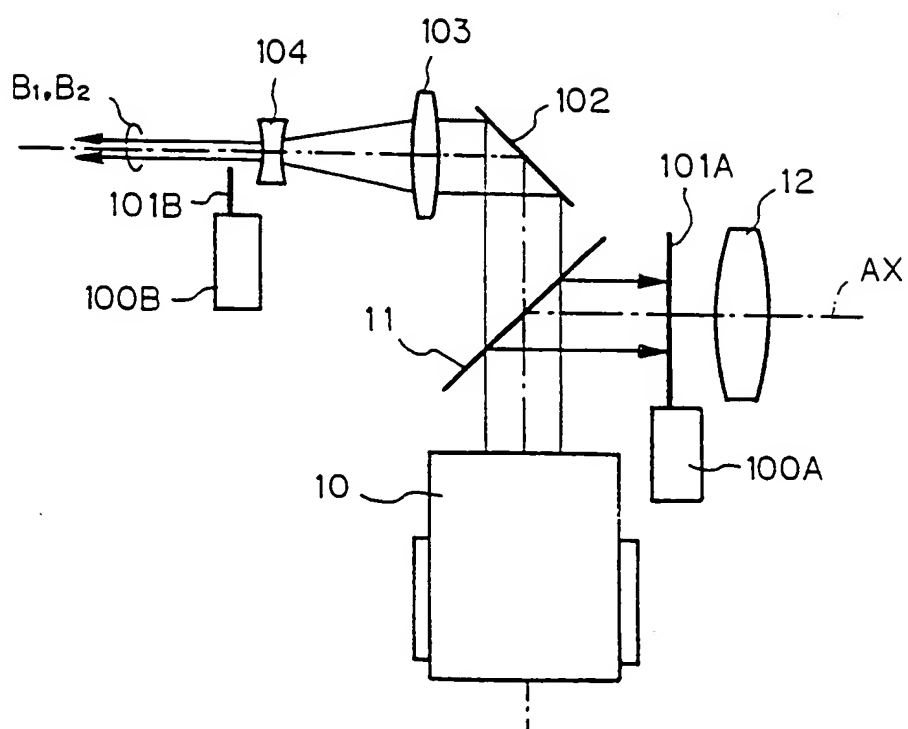
集 乙



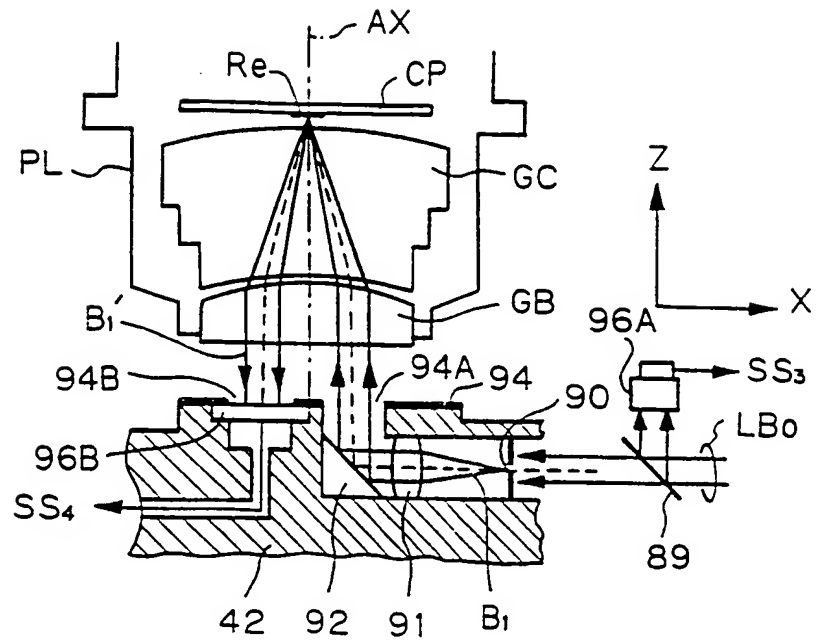
第 6 図



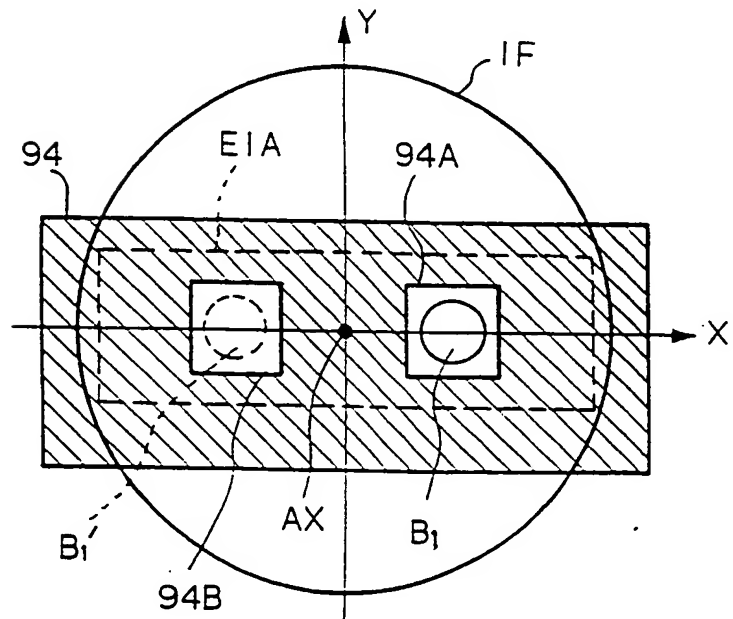
第 10 図



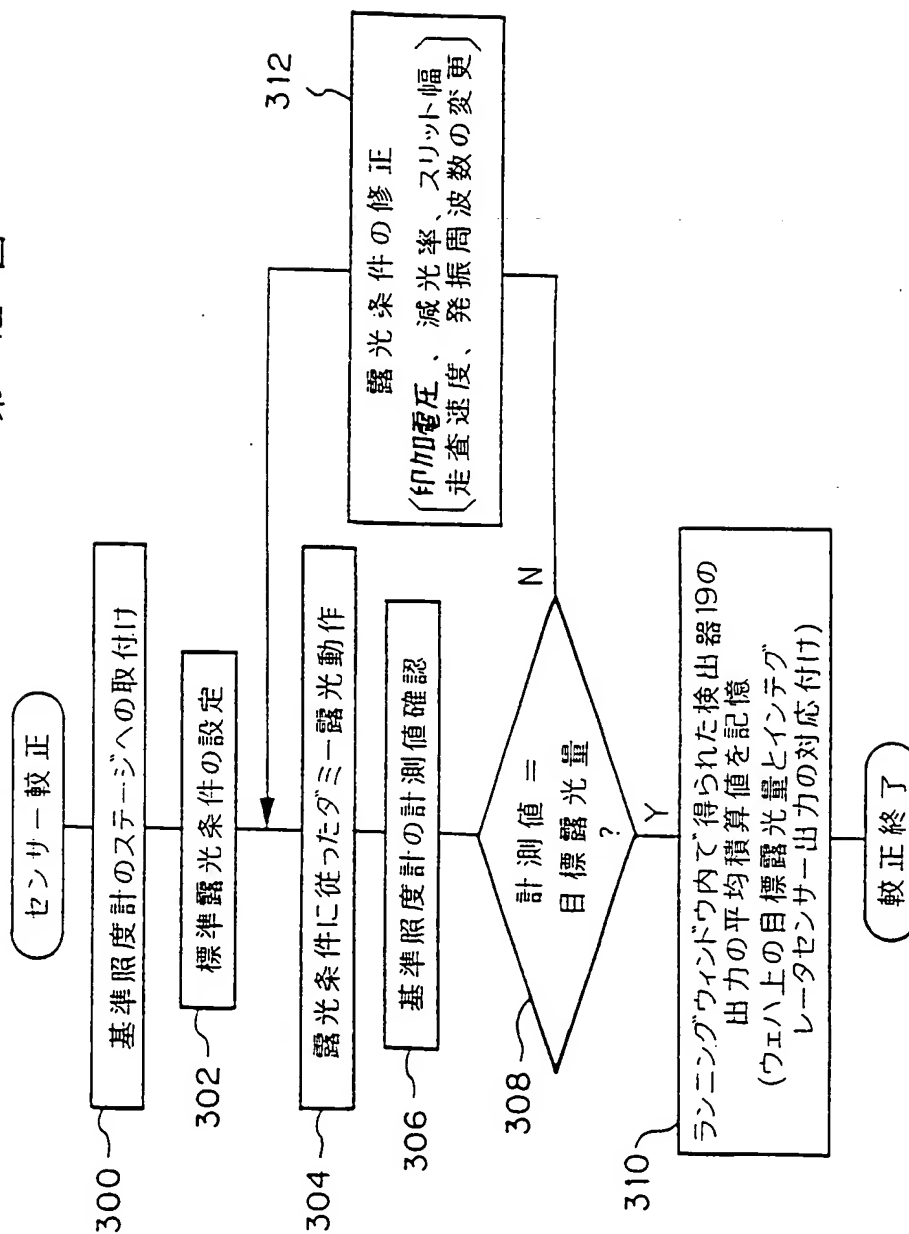
第 8 図



第 9 図

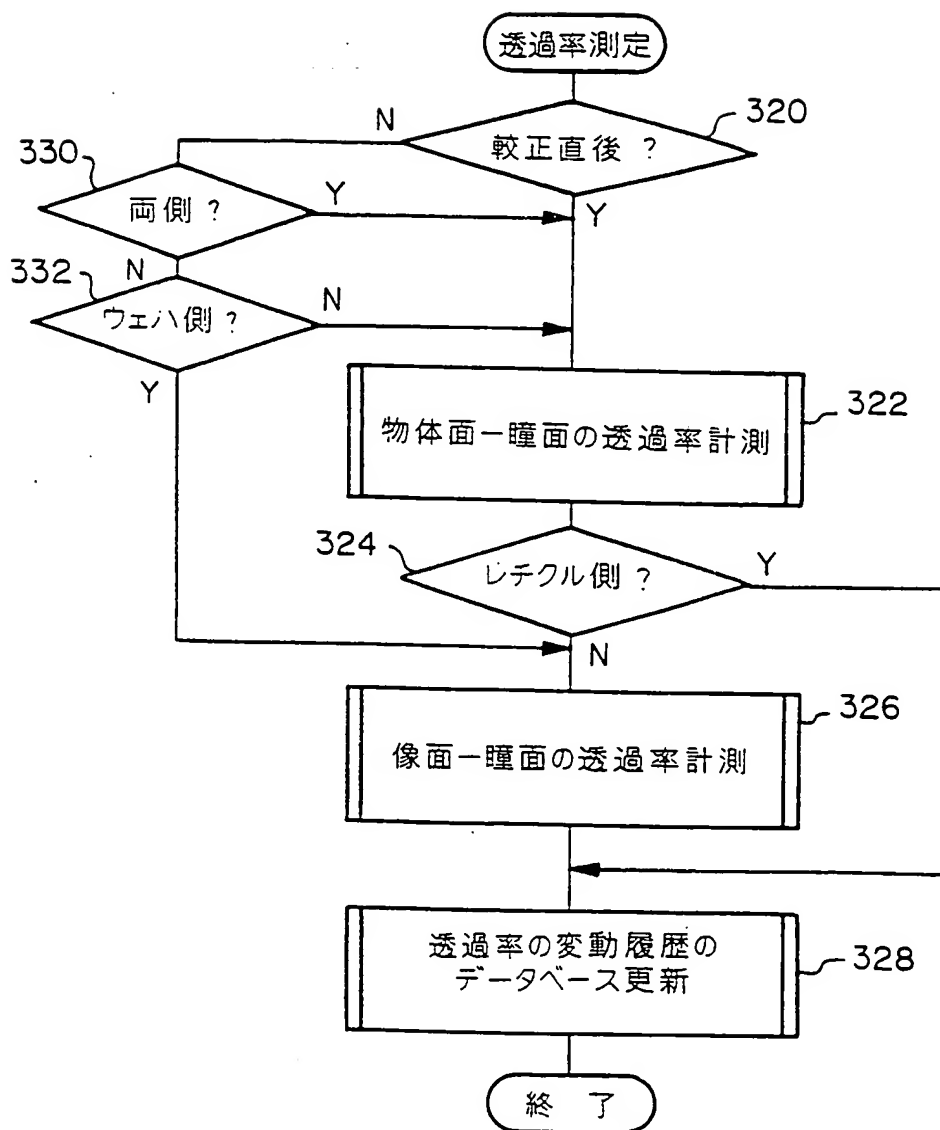


第 12 図

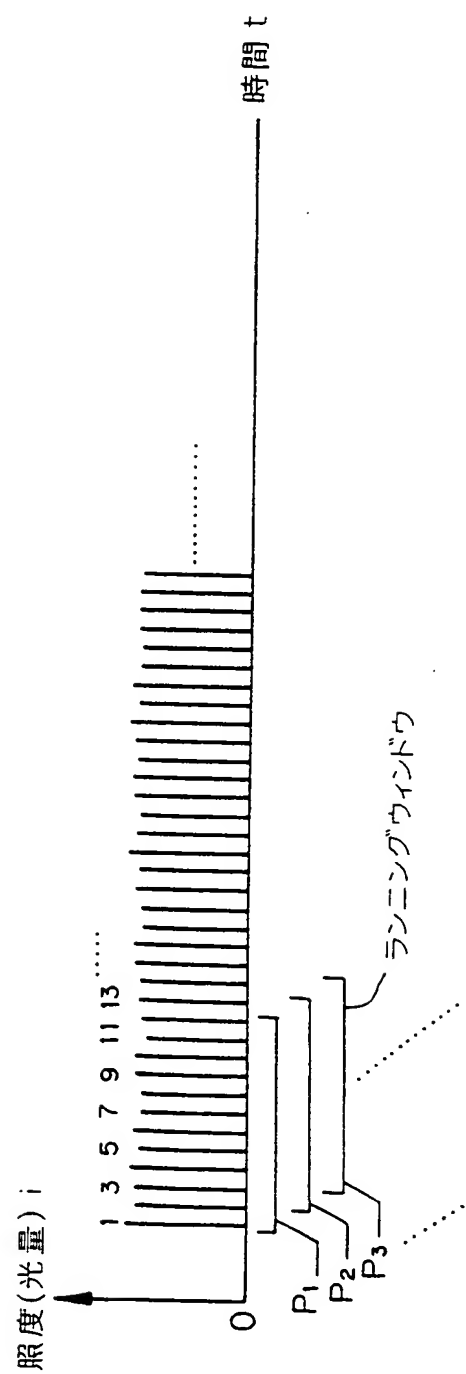




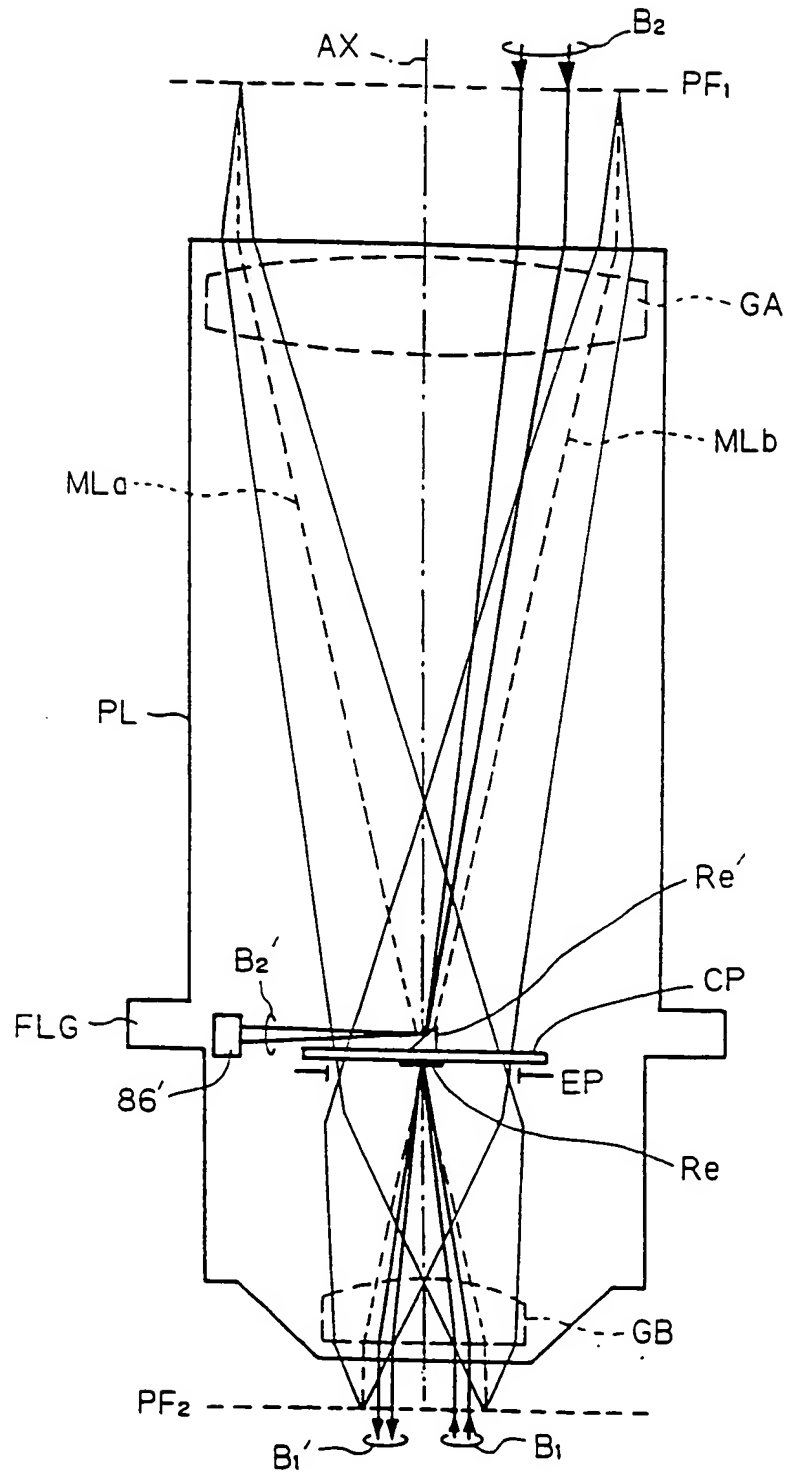
## 第 14 図



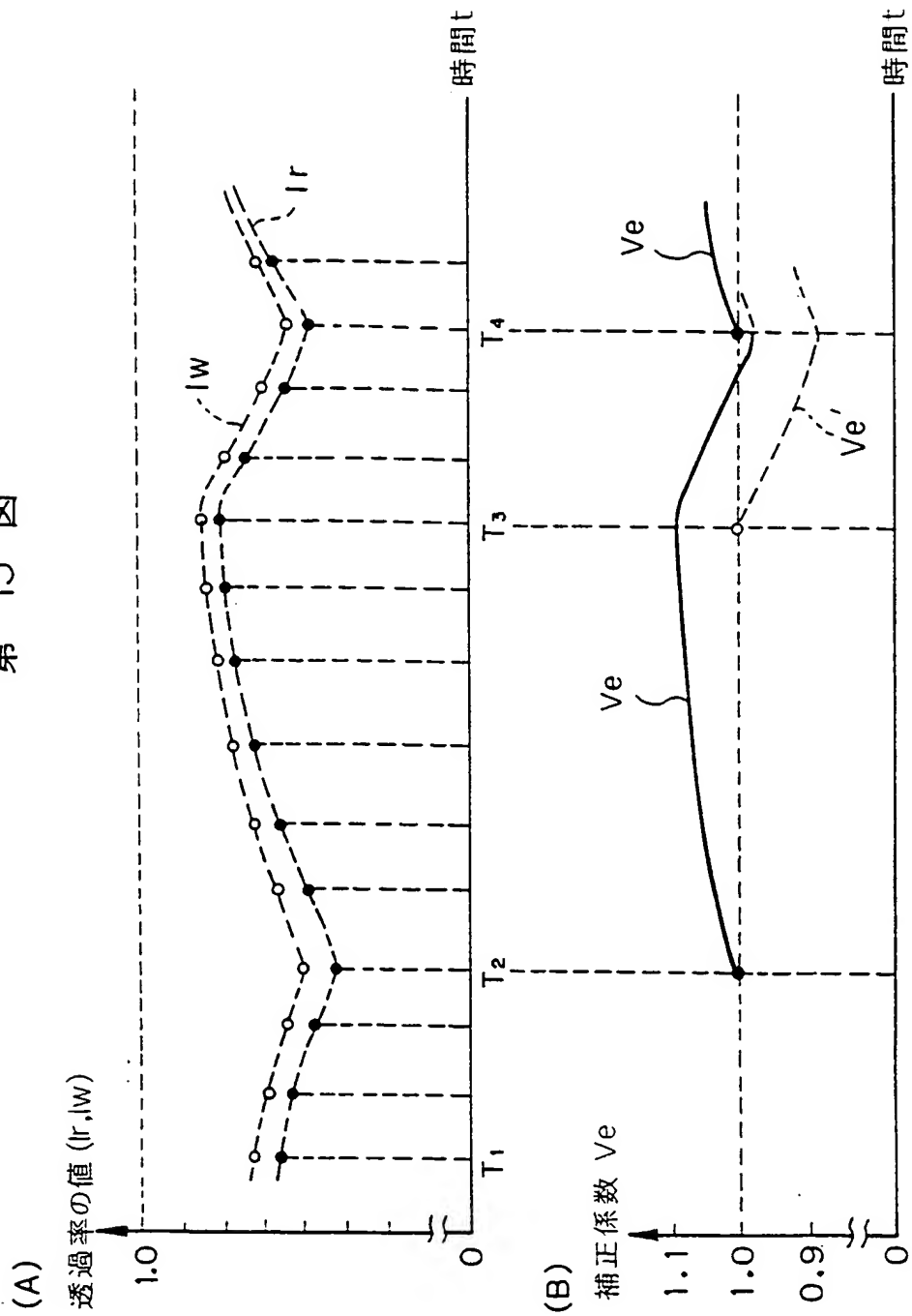
第 13 図



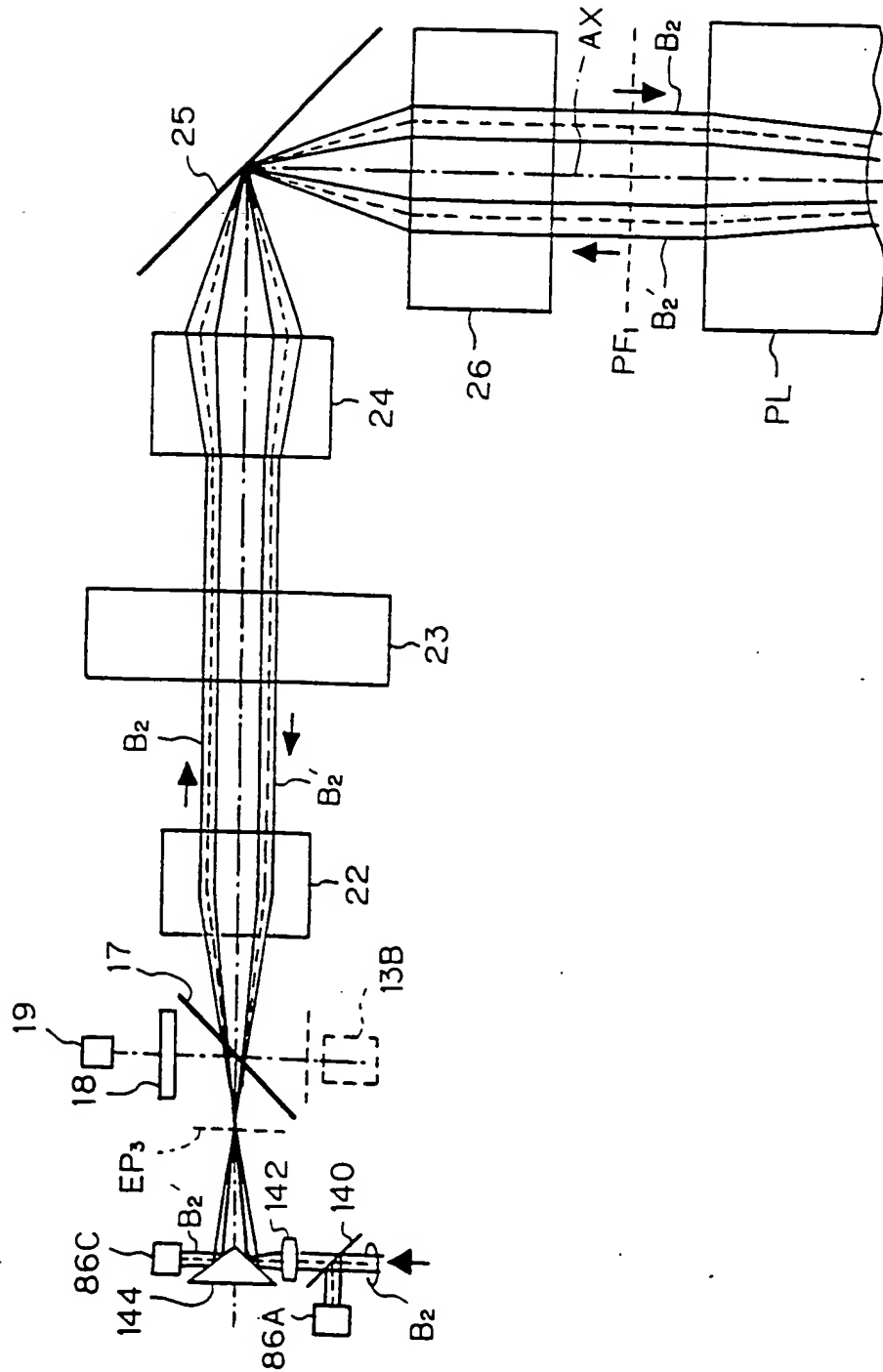
第 16 図



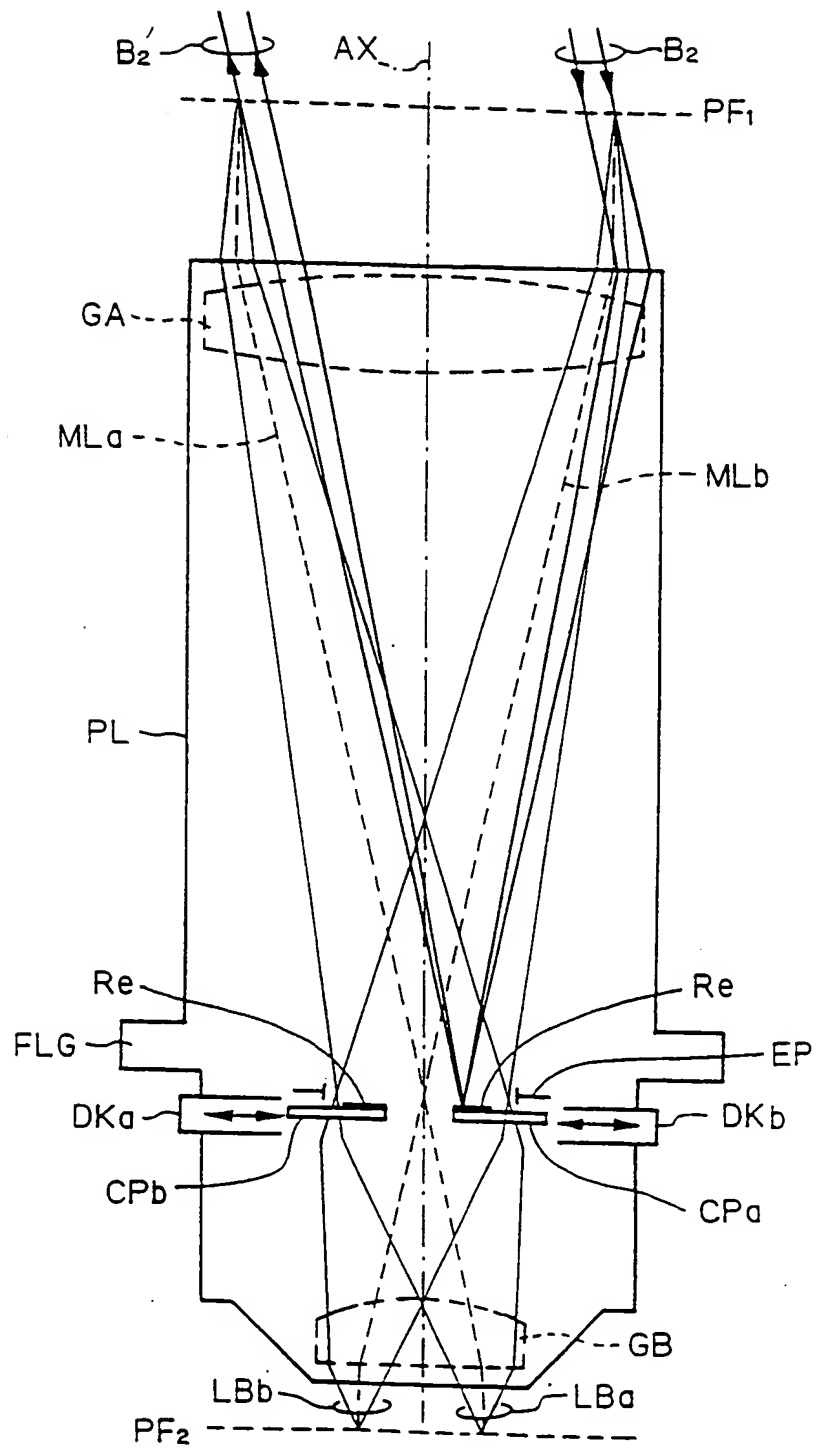
第 15 図



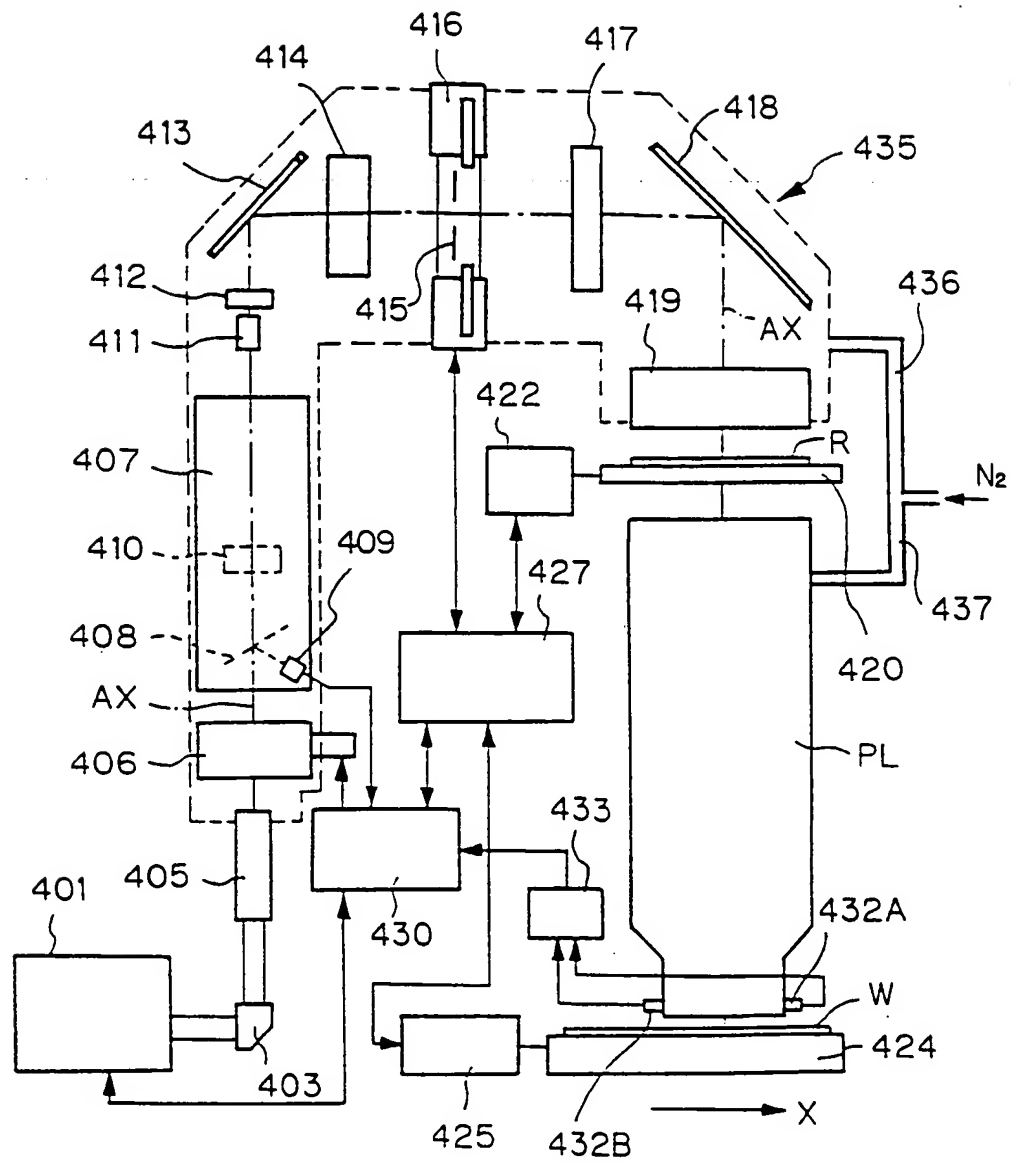
第 18 図



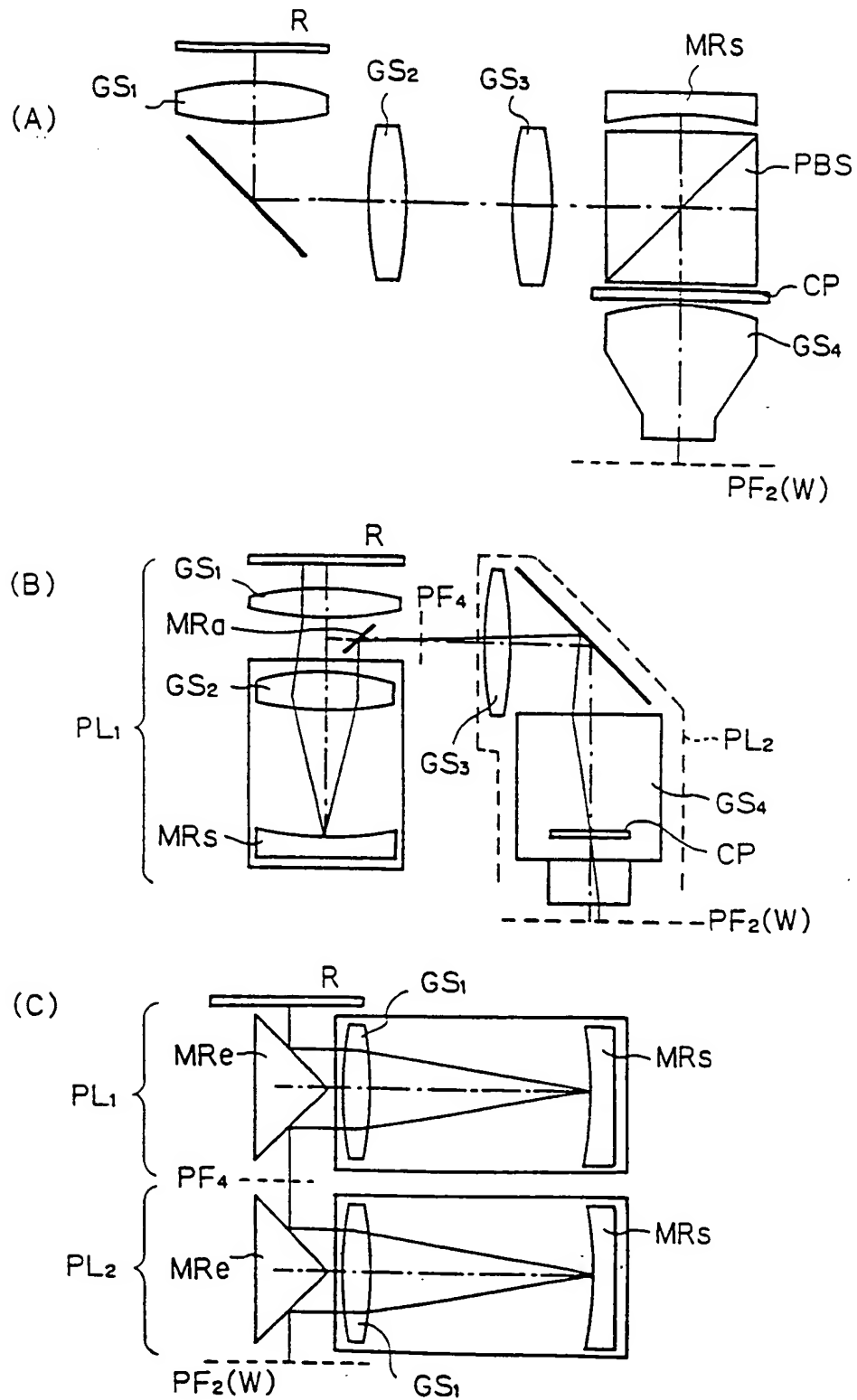
第 17 図



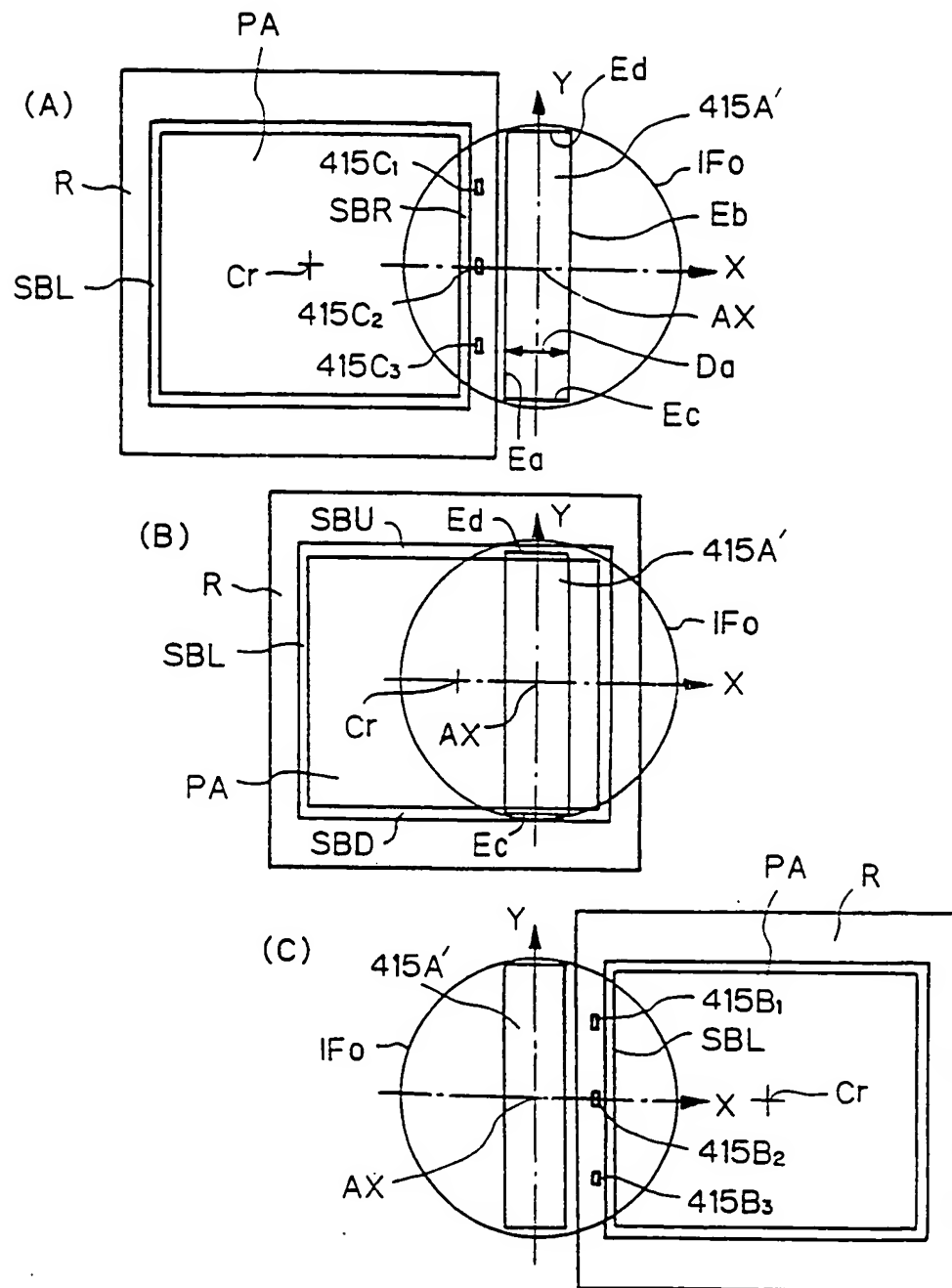
第 20 圖



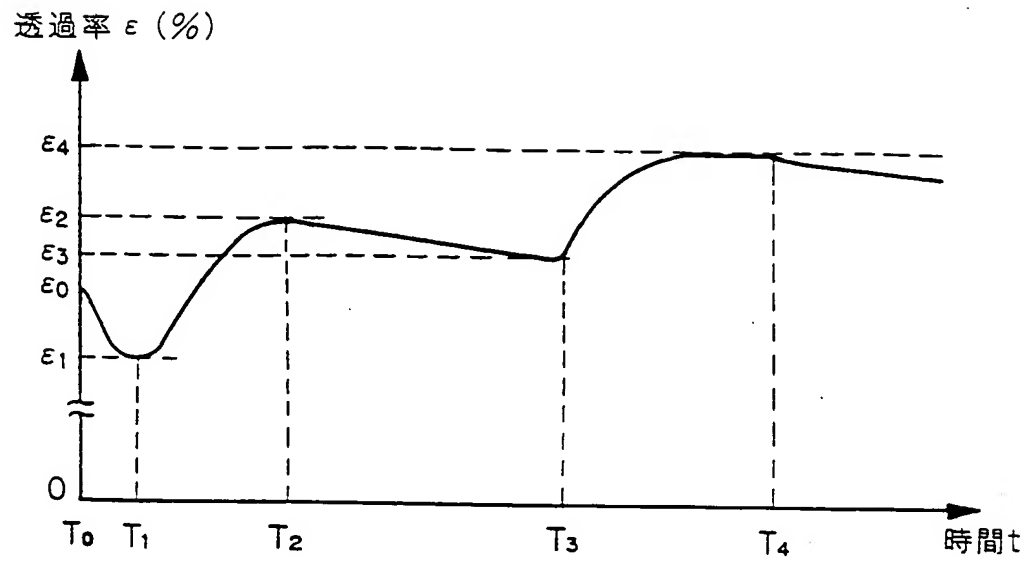
第 19 図



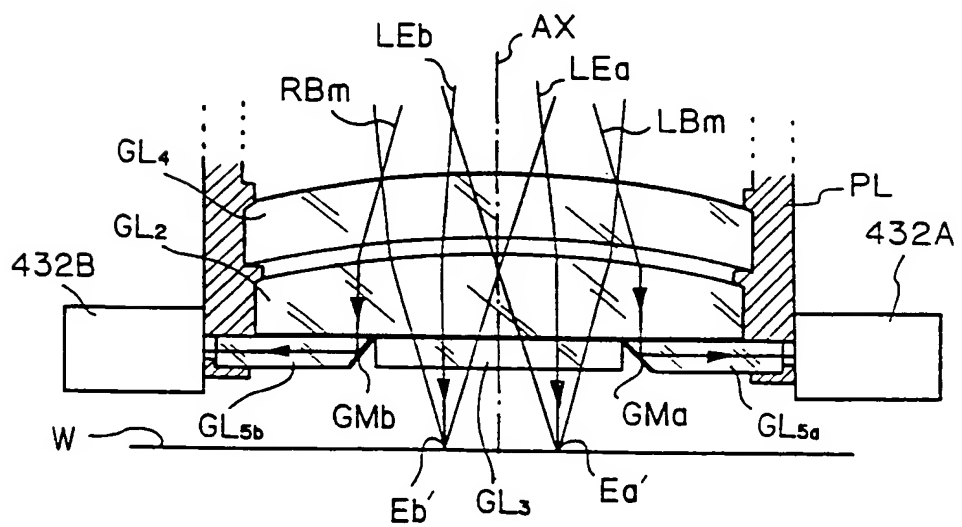
第 22 図



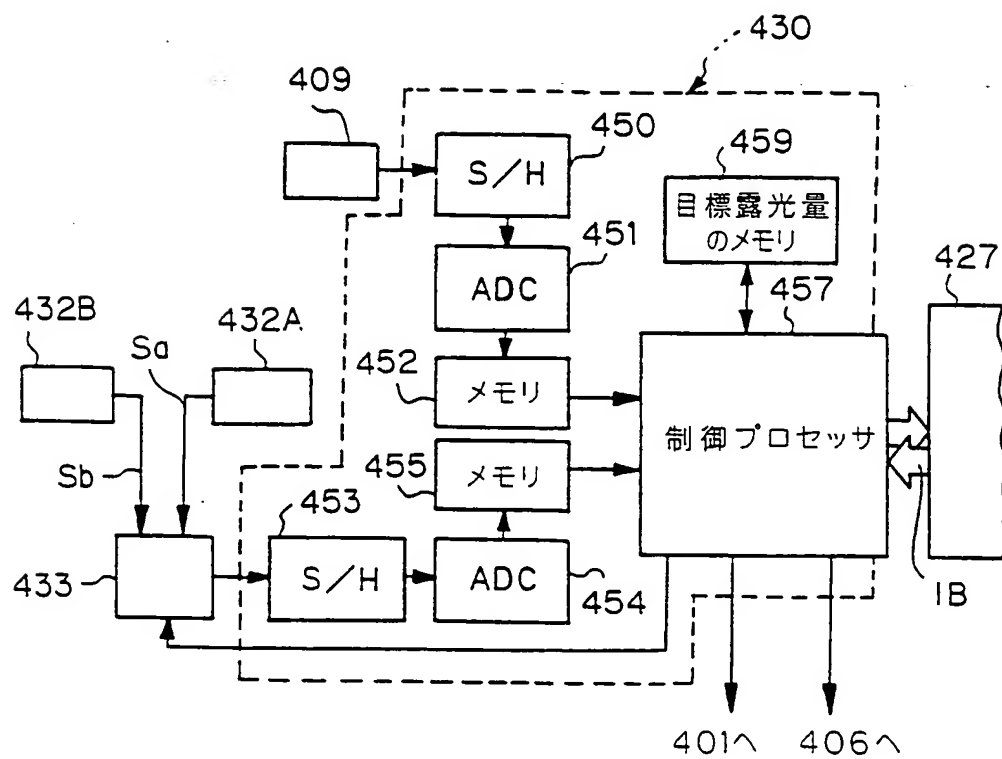
第 23 図



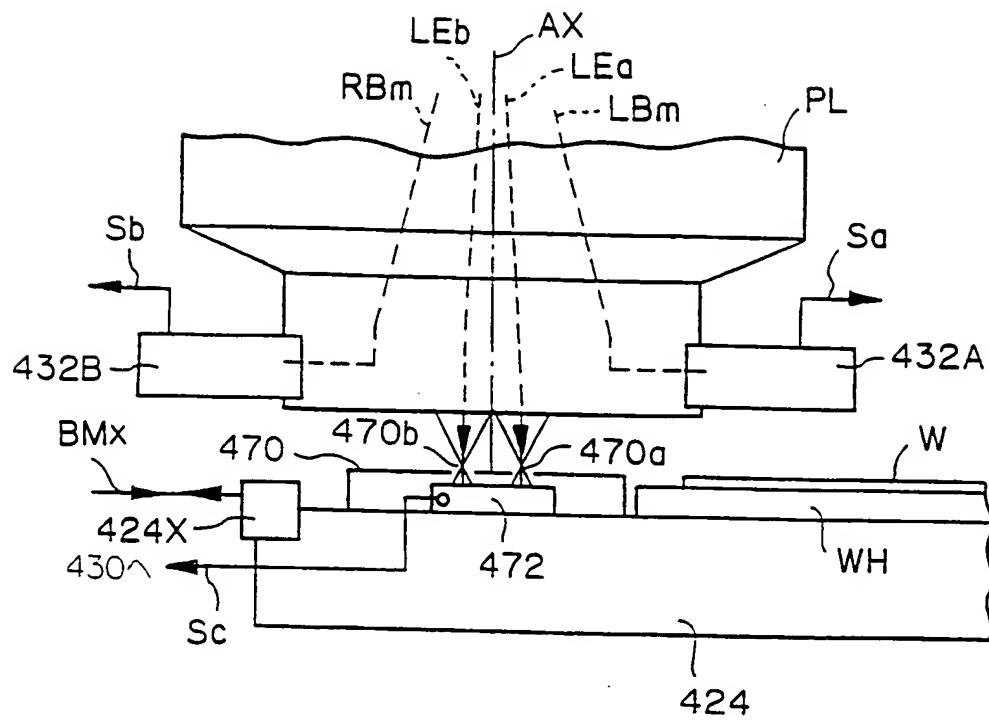
第 24 図



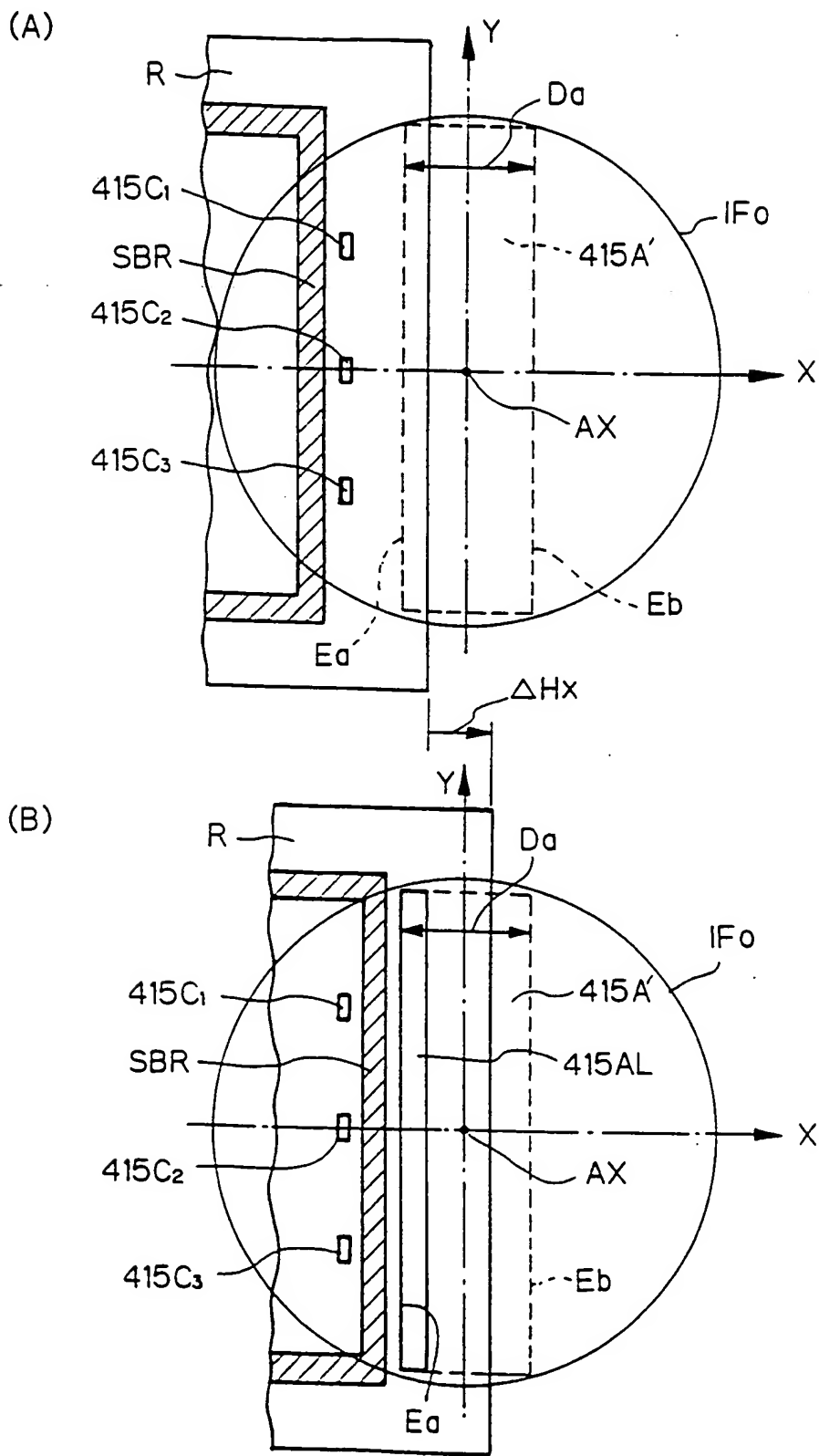
## 第 25 図



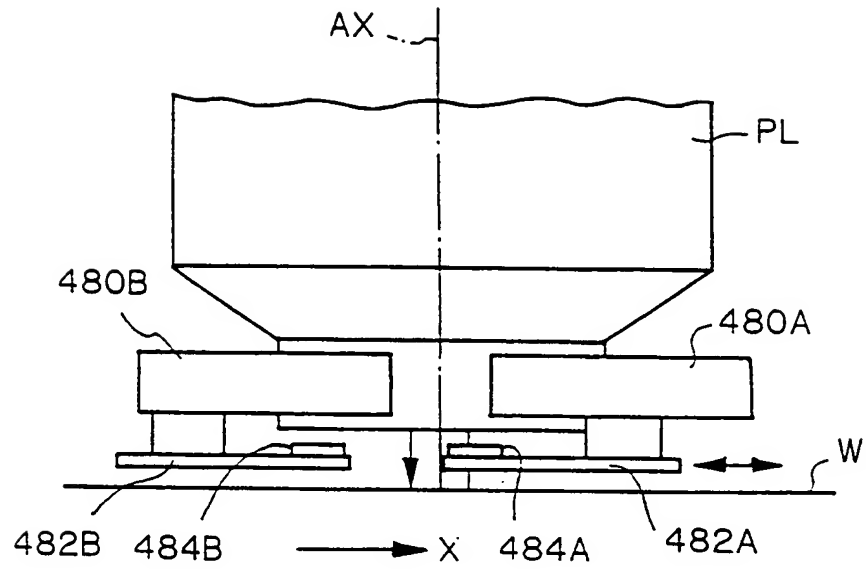
第 26 図



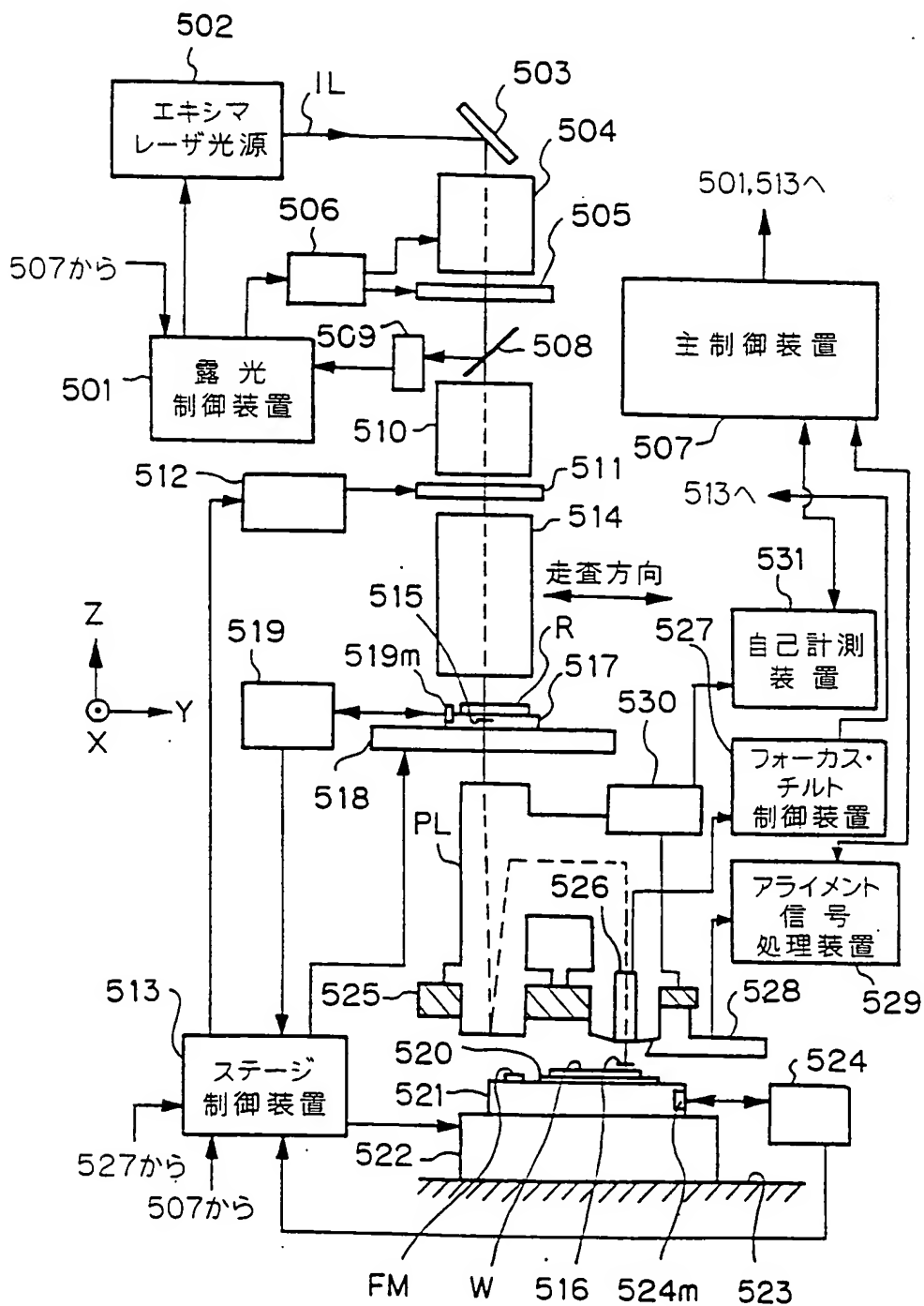
第 27 図



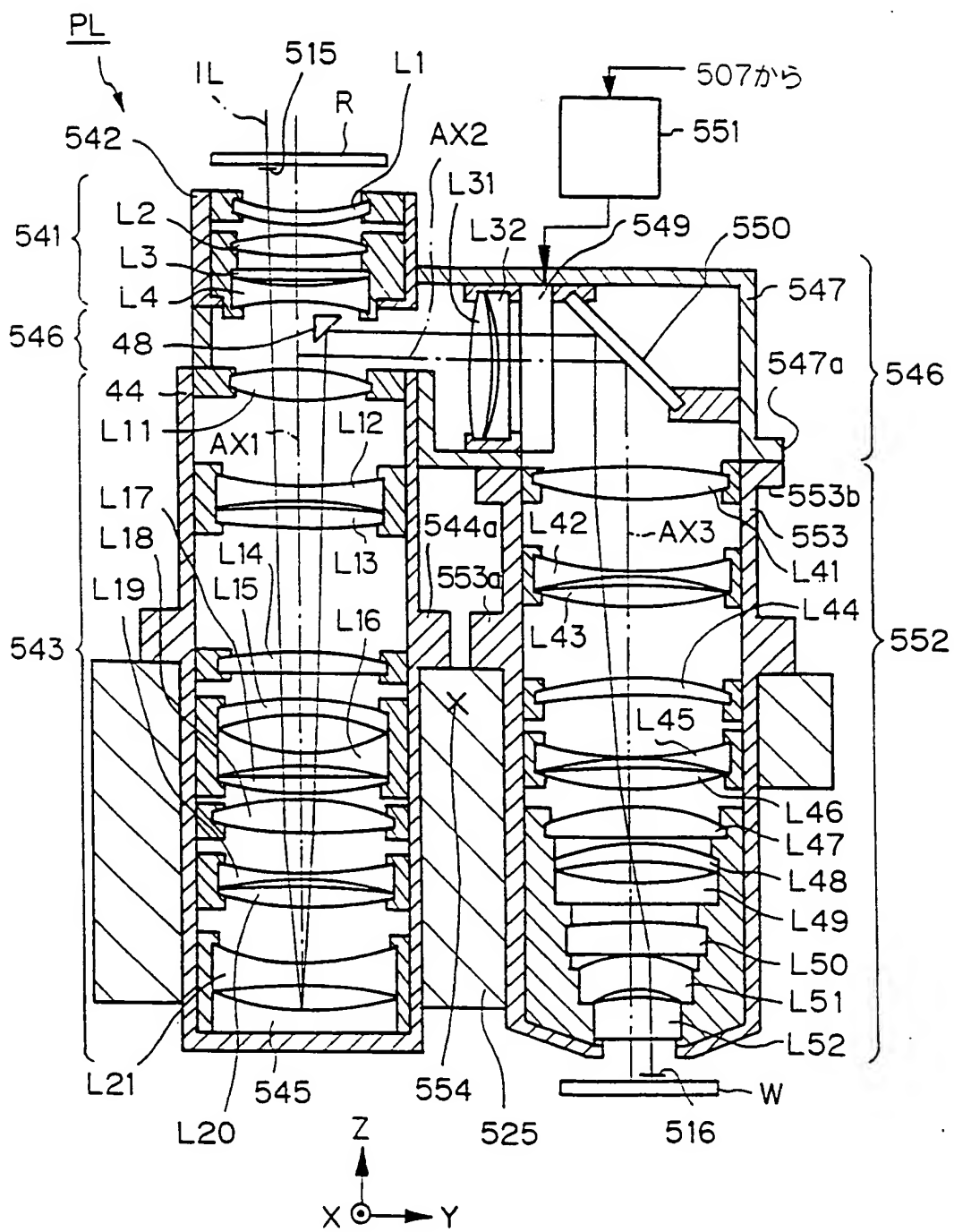
## 第 28 図



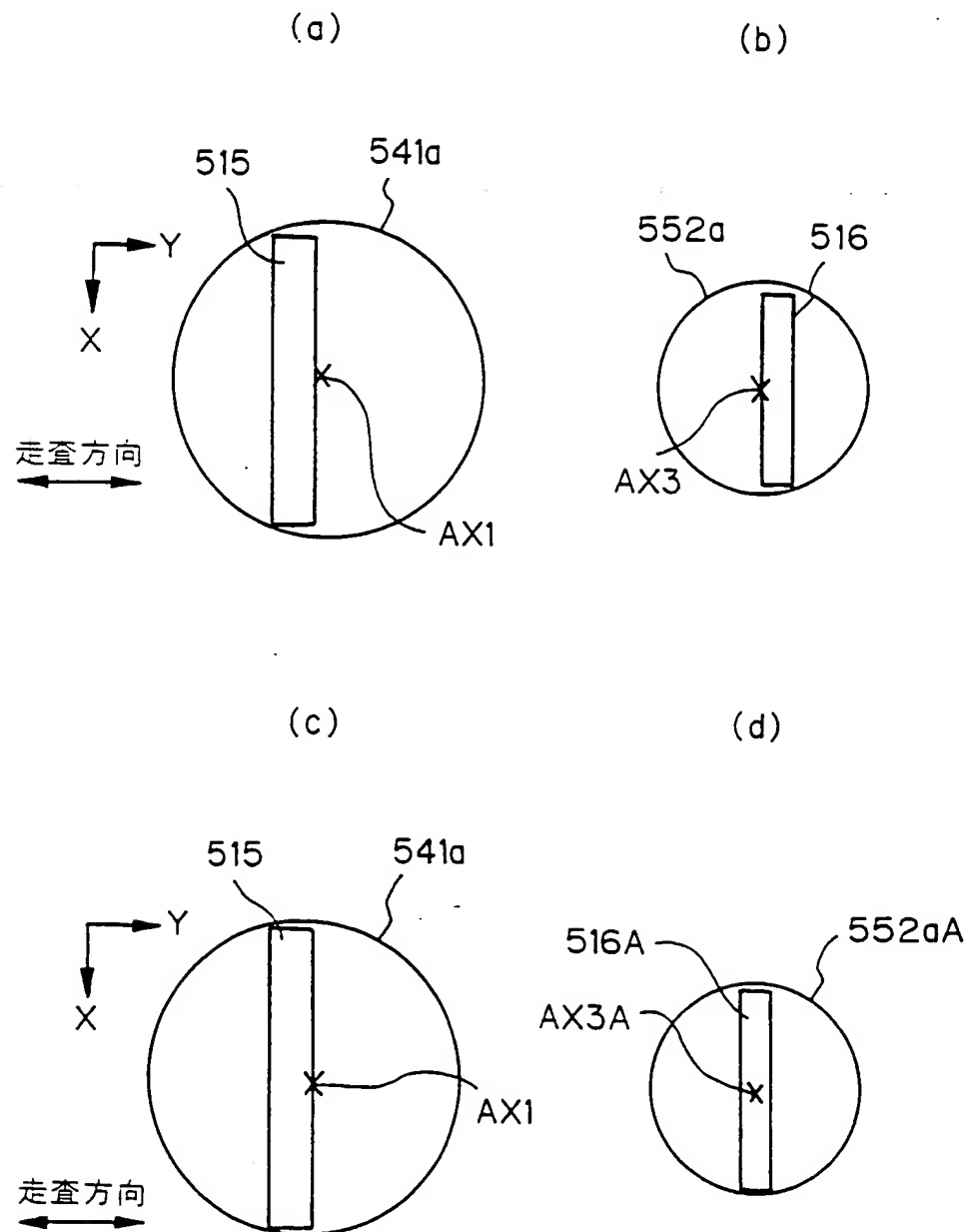
第 29 図



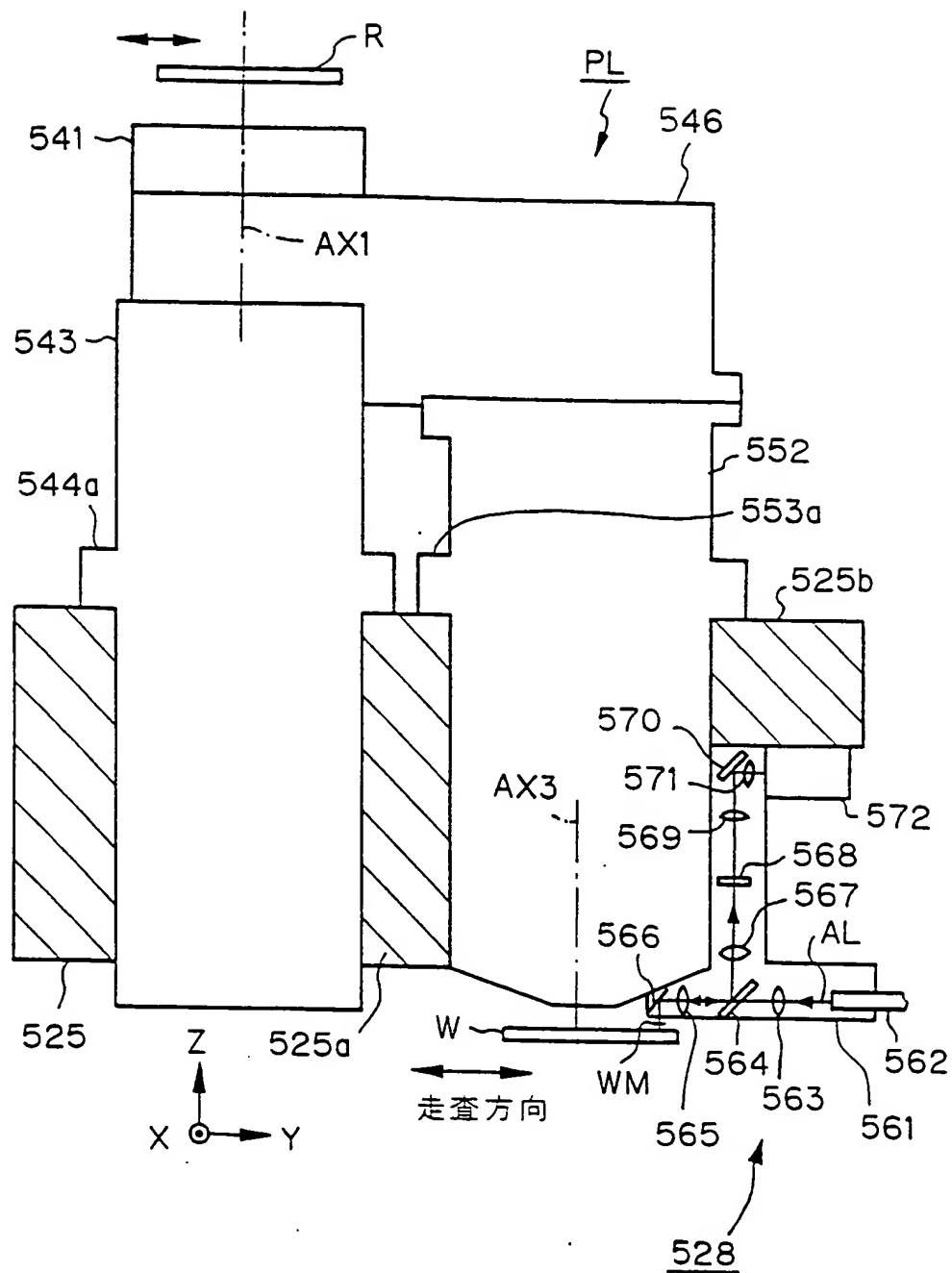
第 30 図



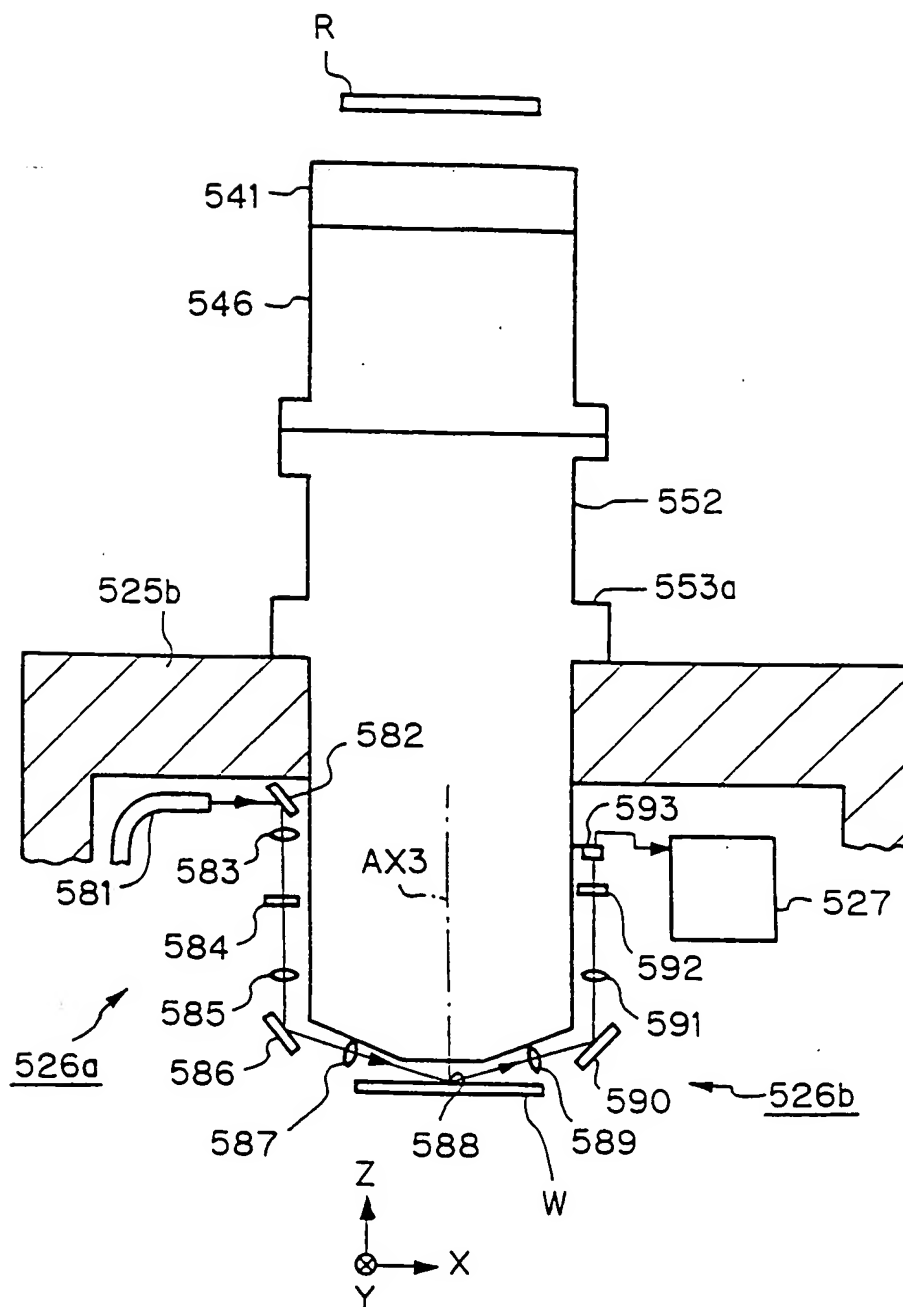
## 第 31 図



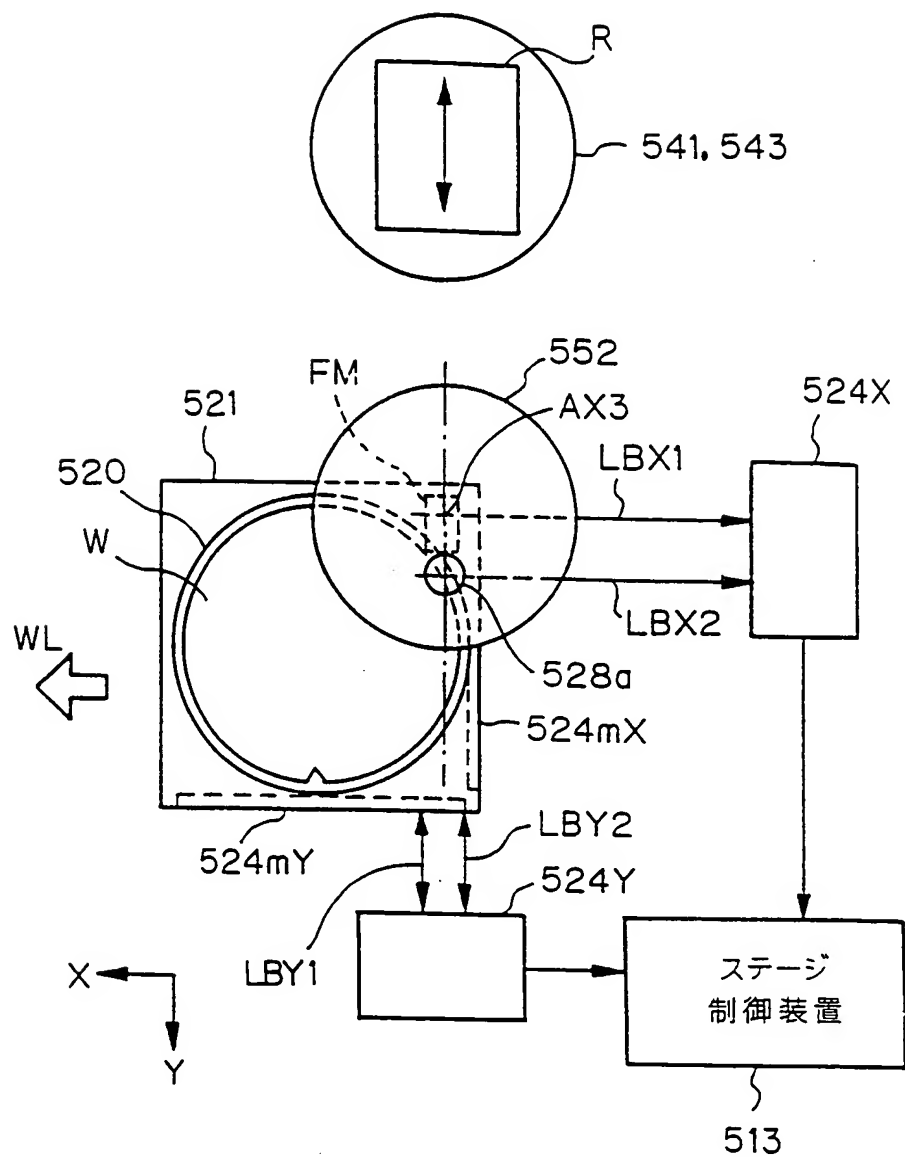
第 32 図



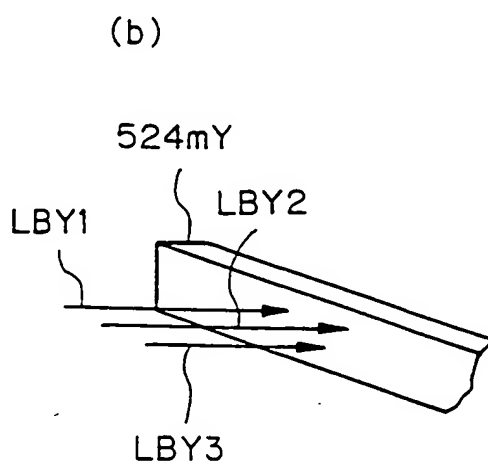
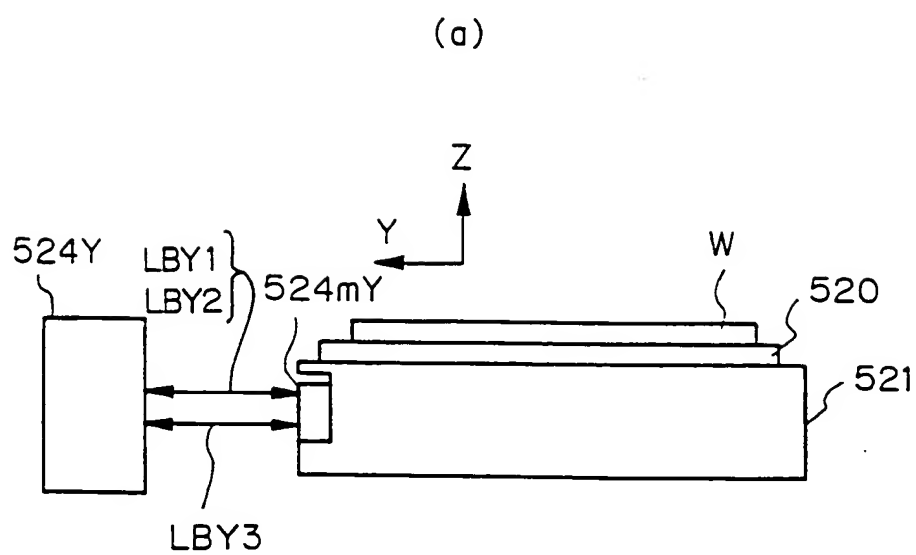
第 33 圖



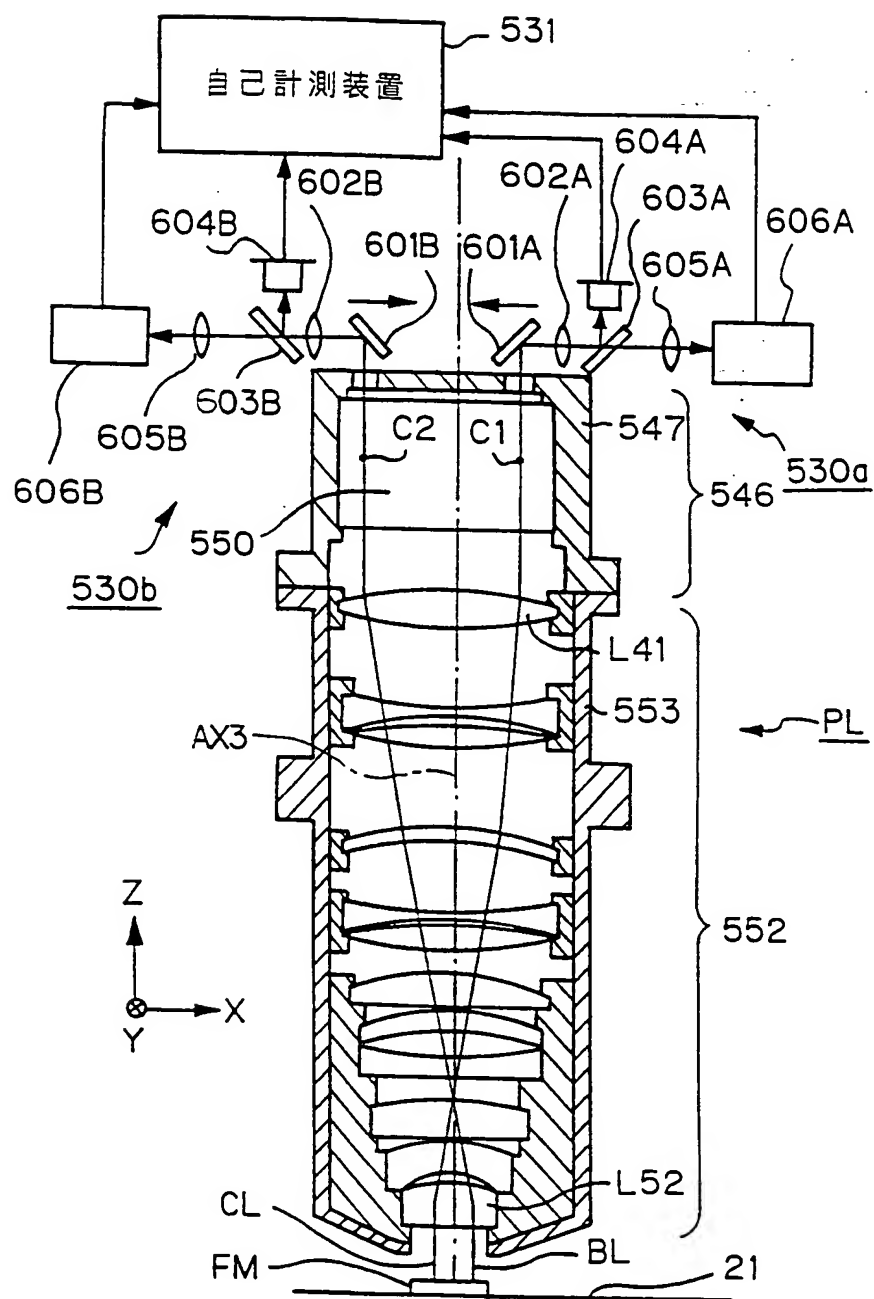
第 34 図



## 第 35 図



第 36 図



# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP98/01776

<b>A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER</b> Int.C1 <sup>6</sup> H01L21/027, G03F7/20		
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
<b>B. FIELDS SEARCHED</b> Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) Int.C1 <sup>6</sup> H01L21/027, G03F7/20		
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched Jitsuyo Shinan Koho 1922-1998 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-1998 Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-1998		
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)		
<b>C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT</b>		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP, 6-77107, A (Yamagata Nippon Denki K.K.), March 18, 1994 (18. 03. 94), Fig. 1 (Family: none)	1-59
A	JP, 2-106917, A (Nikon Corp.), April 19, 1990 (19. 04. 90), Fig. 2 (Family: none)	1-59
A	JP, 7-29810, A (Canon Inc.), January 31, 1995 (31. 01. 95), Fig. 1 & US, 5526093, A	1-59
A	JP, 5-335208, A (Nikon Corp.), December 17, 1993 (17. 12. 93), Fig. 1 (Family: none)	1-59
<input type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input type="checkbox"/> See patent family annex.		
* Special categories of cited documents: "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "E" earlier document but published on or after the international filing date "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art "&" document member of the same patent family		
Date of the actual completion of the international search July 14, 1998 (14. 07. 98)		Date of mailing of the international search report July 21, 1998 (21. 07. 98)
Name and mailing address of the ISA/ Japanese Patent Office		Authorized officer
Facsimile No.		Telephone No.

Form PCT/ISA/210 (second sheet) (July 1992)

## 国際調査報告

国際出願番号 PCT/J P 98/01776

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC)) Int. Cl <sup>8</sup> H 01 L 21/027, G 03 F 7/20		
B. 調査を行った分野 調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC)) Int. Cl <sup>8</sup> H 01 L 21/027, G 03 F 7/20		
最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの		
国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語) 日本国実用新案公報 1922-1998年 日本国公開実用新案公報 1971-1998年 日本国登録実用新案公報 1994-1998年		
C. 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
A	J P, 6-77107, A (山形日本電気株式会社), 18. 3月. 1994 (18. 03. 94), 第1図, (ファミリーなし)	1-59
A	J P, 2-106917, A (株式会社ニコン), 19. 4月. 1990 (19. 04. 90), 第2図, (ファミリーなし)	1-59
A	J P, 7-29810, A (キャノン株式会社), 31. 1月. 1995 (31. 01. 95), 第1図, & US, 5526093, A	1-59
A	J P, 5-335208, A (株式会社ニコン), 17. 12月. 1993 (17. 12. 93), 第1図, (ファミリーなし)	1-59
<input type="checkbox"/> C欄の続きにも文献が列挙されている。 <input type="checkbox"/> パテントファミリーに関する別紙を参照。		
* 引用文献のカテゴリー 「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの 「E」 先行文献ではあるが、国際出願日後に公表されたもの 「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す) 「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献 「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願 の日後に公表された文献 「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの 「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの 「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの 「&」 同一パテントファミリー文献		
国際調査を完了した日 14. 07. 98	国際調査報告の発送日 21.07.98	
国際調査機関の名称及びあて先 日本国特許庁 (ISA/J P) 郵便番号 100-8915 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号	特許庁審査官 (権限のある職員) 正山 旭 電話番号 03-3581-1101 内線 3464	4M 9276

様式PCT/ISA/210 (第2ページ) (1992年7月)